



# ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS INDUSTRIALES Y DE TELECOMUNICACIÓN

Titulación:

INGENIERO TÉCNICO INDUSTRIAL MECÁNICO

Título del proyecto:

CONTROL DE CALIDAD DE PUNTOS DE SOLDADURA  
MEDIANTE INSPECCIÓN POR ULTRASONIDOS

MEMORIA

Daniel Escuderos Ibáñez

Lucas Álvarez Vega

Pamplona, 10 de septiembre 2010



## INDICE

<b>1 Introducción.....</b>	<b>5</b>
1.1 Empresa, línea de negocio y producto.....	6
1.2 Características críticas del producto. Identificación de piezas con letra D.....	9
1.2.1 Definición.....	9
1.2.2 Simbología e identificación.....	9
1.2.3 Ejemplo hoja TLD grupo VW. Hoja documentación interna KWD.....	12
1.3 Tipología de aceros usados en el ensamblaje.....	14
1.3.1 Definición de acero.....	14
1.3.2 Clases de aceros.....	15
1.3.2.1 Aceros galvanizados al fuego o en caliente.....	15
1.3.2.2 Aceros cincados electrolíticamente.....	18
1.3.3 Calidad de acabado superficial en aceros galvanizados en caliente.....	19
1.3.4 Tratamiento de superficie en aceros galvanizados.....	20
1.4 Resumen nomenclatura aceros.....	21
1.5 Ventajas e inconvenientes de la utilización de chapa galvanizada.....	22
<b>2 Aspectos teóricos de la soldadura por resistencia.....</b>	<b>23</b>
2.1 Identificación de las variables que intervienen en el proceso de soldadura por Resistencia.....	27
2.2 Particularidades del proceso de soldadura de chapa galvanizada.....	29
<b>3 Elementos fundamentales de una instalación automática de soldadura por resistencia.....</b>	<b>30</b>
3.1 Automatas y control de soldadura.....	30
3.2 Tiristores.....	31
3.3 Pinzas de soldadura.....	32
3.4 Reguladores de presión.....	33
3.5 Electrodo.....	33
<b>4 Parámetros óptimos de un punto de soldadura para un determinado espesor de las chapas a soldar.....</b>	<b>36</b>



<b>2 Antecedentes. Situación actual del control de calidad de los puntos de soldadura por resistencia.....</b>	<b>38</b>
2.1 Defectología del punto de soldadura.....	38
2.1.1 Introducción.....	38
2.1.2 Defectos relativos a la huella de soldadura.....	38
2.1.2.1 Tipos de huella.....	39
2.1.3 Defectos relativos al núcleo o lenteja de soldadura.....	42
2.2 Procedimientos actuales de ensayos destructivos usados en KWD.....	44
2.2.1 Procedimiento de ensayo de tracción con cizalladura.....	44
2.2.2 Procedimiento de ensayo de desbotonadura.....	49
2.2.3 Procedimiento de ensayos metalográficos.....	51
2.3 Implantación de métodos de ensayos no destructivos. Generalidades.....	55
2.3.1 Propósito y justificación del uso de ensayos no destructivos en la empresa KWD.....	57
 <b>3 Uso de la técnica de ultrasonidos. Principios físicos. Equipos generadores de ultrasonidos.....</b>	 <b>59</b>
3.1 Historia del uso de los ultrasonidos en la industria.....	59
3.2 Caracterización de las ondas ultrasónicas. Reflexión y Refracción.....	61
3.2.1 Introducción.....	61
3.2.2 Características generales de las ondas.....	61
3.2.3 Ondas Continuas. Impulsos.....	62
3.2.4 Tipos de ondas.....	63
3.2.4.1 Onda Longitudinal.....	63
3.2.4.2 Onda transversal.....	64
3.2.4.3 Onda superficial.....	64
3.2.5 Impedancia Acústica.....	65
3.2.6 Presión acústica e intensidad acústica.....	66
3.3 Reflexión y Refracción.....	66
3.3.1 Propagación con incidencia normal ó perpendicular.....	66
3.3.2 Propagación con incidencia angular.....	68



3.4 Utilización de palpadores y equipos.....	69
3.4.1 Generación y recepción de ondas ultrasónicas.....	69
3.4.1.1 Efecto piezoeléctrico. Materiales Piezoeléctricos.....	69
3.4.1.2 Efecto Magnetostrictivo.....	71
3.4.1.3 Propiedades del palpador. Campo Ultrasónico.....	72
3.4.2 Equipos y palpadores.....	76
3.4.2.1 Construcción y modo de operación. Tipos de máquinas de ultrasonido.....	76
3.4.2.2 Palpadores.....	83
3.4.2.3 Características del sistema equipo-palpador. Poder de resolución. Zona muerta.....	85
3.4.3 Medio de acoplamiento.....	85
<b>4 Aplicación especial del uso de los ultrasonidos para inspección de puntos de soldadura por resistencia.....</b>	<b>87</b>
4.1 Introducción.....	87
4.2 Equipos y palpadores.....	87
4.2.1 Palpadores o transductores de retardo por columna de agua.....	88
4.2.2 Selección correcta del palpador.....	89
4.2.3 Preparación previa de los palpadores.....	90
4.2.4 Acoplante.....	90
4.3 Método operativo.....	90
4.3.1 Calibración.....	90
4.4 Inspección de los puntos.....	91
4.4.1 Realización de la inspección.....	92
4.4.2 Descripción de los patrones básicos.....	93
4.5 Resumen procedimientos generales de inspección de puntos por ultrasonido.....	99
<b>5 Puesta en marcha máquina Scan Master swi-100 UPI 50 spotweld-inspector.....</b>	<b>101</b>
5.1 Puesta en marcha.....	102
5.2 Ajuste de parámetros.....	108
5.2.1 Configuración de UPR ó parámetros ultrasónicos.....	108





5.2.2 Configuración para la valoración automática de la señal (SWD settings).....	114
5.2.3 Otras opciones.....	115
5.3 Obtención de una señal.....	116
 <b>6 Validación del uso de la máquina Scan Master swi-100 UPI 50 spotweld-inspector en KWD España S.A.U. ....</b>	<b>117</b>
6.1 Resumen.....	117
6.2 Introducción.....	117
6.3 Objetivo.....	118
6.4 Equipamiento.....	118
6.5 Caracterización del acero de las probetas.....	120
6.6 Procedimiento experimental.....	120
6.7 Resultados y análisis.....	123
6.8 Tabla resumen parámetros obtenidos.....	146
 <b>7 Conclusiones. Implantación del método de inspección ultrasónica en el sistema de calidad.....</b>	<b>147</b>
7.1 Ejemplo procedimiento interno de instrucción de uso máquina de ultrasonidos.....	150
7.2 Necesidades para el manejo del equipo de ultrasonidos.....	152
7.3 Planteamiento útil para inspección largueros.....	153
7.4 Propuesta nueva distribución cuarto de laboratorio.....	154
 <b>8 Bibliografía y normativa consultada.....</b>	<b>155</b>



## 1. -Introducción

---

En la industria del automóvil, la unión de materiales metálicos mediante soldadura por resistencia es uno de los procesos más importantes. La calidad del producto final está relacionada con la calidad de las soldaduras, por lo que resulta imprescindible llevar un control exhaustivo de las mismas. A partir de esa necesidad, surgió la aplicación de los principios de la mecánica de la fractura para determinar el grado de resistencia que presentaban a rotura. Estas técnicas de ensayo, todavía vigentes en la actualidad presentan elevados costes dentro las empresas y con el inconveniente de dejar fuera de servicio la pieza sometida a ensayo.

Partiendo de esta base generalizada y aprovechando que me encuentro como estudiante en prácticas dentro del departamento de calidad de KWD (empresa dedicada al ensamblaje mediante soldadura por resistencia), decido abordar como proyecto fin de carrera, el estudio de algún tipo de ensayo no destructivo que pueda verificar si nuestro proceso y el nivel de calidad que presentan nuestras piezas es satisfactoria, sin la necesidad de dejar inservible el producto.

El proceso de soldadura por resistencia, como bien es sabido, consiste en la unión de planchas metálicas de diferente morfología a solape mediante fusión localizada provocada por la resistencia del material al paso de corriente eléctrica entre unos electrodos y el propio material a soldar.

En este tipo de uniones, el espesor de la chapa no sobrepasa unos pocos milímetros y la zona de acoplamiento suele estar deformada por la presión necesaria que deben realizar los electrodos, siendo este uno de los parámetros principales del proceso, junto con la intensidad de corriente y el tiempo de paso.

Por consiguiente, después de la realización de cualquier ensayo de calidad, tanto destructivo como no destructivo se actúa modificando los parámetros para mejorar o corregir posible deficiencias.

Conocido el tipo de proceso que tenemos y las características de los puntos que se obtienen. Se da la particularidad de que en nuestras instalaciones, se dispone de una máquina de comprobación de puntos de soldadura mediante ultrasonidos que se encuentra en desuso, por lo que después de una serie de reuniones entre los diferentes departamentos implicados, se me aprueba realizar un estudio que permita de nuevo poner en marcha la máquina y elaborar un procedimiento para incluirla dentro del sistema de calidad. El objetivo no es otro que el reducir las roturas semanales que actualmente están contempladas. No se trata de eliminar totalmente el ensayo de desbotonadura y el de tracción, ya que es el método más fiable de ensayo, pero sí que se pretende reducir el número de piezas sometidas a pruebas destructivas, con el consiguiente ahorro de costes que esto conlleva.



El principio de control por ultrasonidos está basado en la propagación a través del material a estudio de una onda mecánica de presión de alta frecuencia, entre 15 y 20 Mhz. Mediante un equipo de ultrasonidos generamos impulsos eléctricos que son enviados a un cristal con propiedades piezoeléctricas de forma que este impulso eléctrico es transformado en ondas ultrasónicas, las ondas son reflejadas cuando llegan a algún obstáculo, que son nuevamente recogidas por el palpador y transformadas de nuevo en una señal eléctrica. Estas señales eléctricas son enviadas a una pantalla donde se obtiene una imagen que es analizada posteriormente para determinar el tipo de defecto que se presenta en cada caso.

El propósito del que escribe entonces es llegar a establecer unos criterios de aceptación de la calidad de los puntos en cuanto a características (defectología), tamaño y grosor de los mismos, esto se hace mediante comparación; y para ello es necesario conocer y establecer unas gráficas patrón que garanticen que el punto que se está inspeccionando, es susceptible de poder ser clasificado conforme a un criterio razonable y conocido por el operador.

En estas gráficas, aparecen diferentes parámetros de las ondas ultrasónicas, con lo que su estudio y sus características tendrán mucho peso dentro del proyecto, pues al final es el medio del que queremos disponer para controlar nuestro producto y el proceso de soldadura en sí mismo.

### 1.1 Empresa, línea de negocio y producto

KARROSSERIEWERKE DRESDEN ESPAÑA (KWD ESPAÑA) S.A.U se funda en 1998 abriendo su sede en Pamplona, pertenece al sector auxiliar de automoción y centra su actividad en el ensamblado de elementos para carrocerías mediante procesos robotizados de soldadura por resistencia al 95% y otros como la soldadura por arco (MAG).

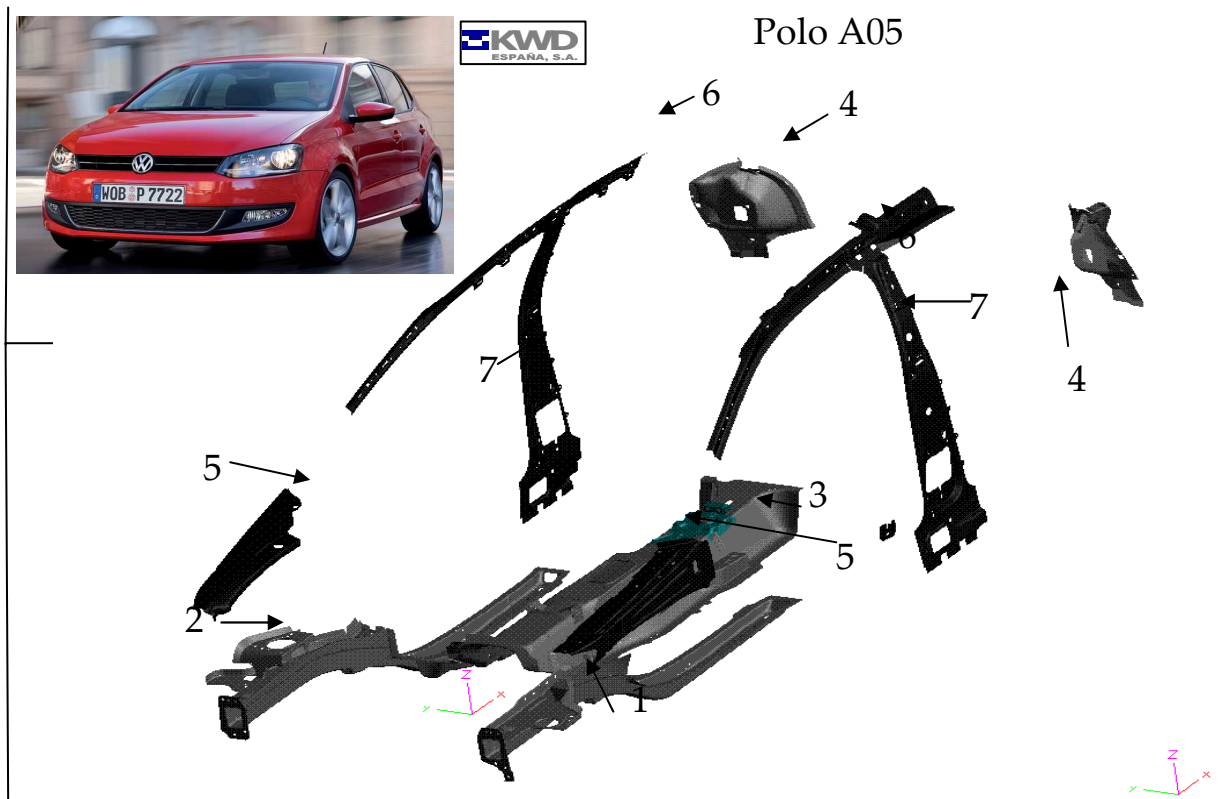
Su cliente principal es el consorcio Alemán VAG (Grupo Volkswagen) y en sus instalaciones se ensamblan elementos de carrocería para los modelos Polo A04 y A05 de la marca Volkswagen y para la futura plataforma del modelo utilitario de Audi, el denominado A1.

Estos elementos o piezas, tienen unos requerimientos de seguridad muy altos, ya que muchas de ellas son piezas estructurales de vehículos que han de estar sometidas a tensiones estáticas y dinámicas continuadas; por esta razón, se adquiere una serie de responsabilidades tanto civiles como penales durante el proceso de fabricación que se mantienen durante toda la vida del vehículo, estas piezas se denominan como piezas de seguridad con característica D, y en nuestro caso son las siguientes

- **Larguero anterior izquierdo y derecho** (Polo A04, A05 y A1): Son las estructuras donde se fija el grupo propulsor del automóvil.
- **Larguero superior izquierdo y derecho** (A05): Se sitúan por encima de las aletas delanteras, son el apoyo donde descansa el capot delantero que cubre el vano-motor.
- **Conjunto Túnel** (A05, A1): Este elemento pertenece al piso del chasis del vehículo y se sitúa justo en el eje longitudinal de este. A él van sujetas las guías de los asientos del coche y otros elementos como el soporte del freno de mano etc.

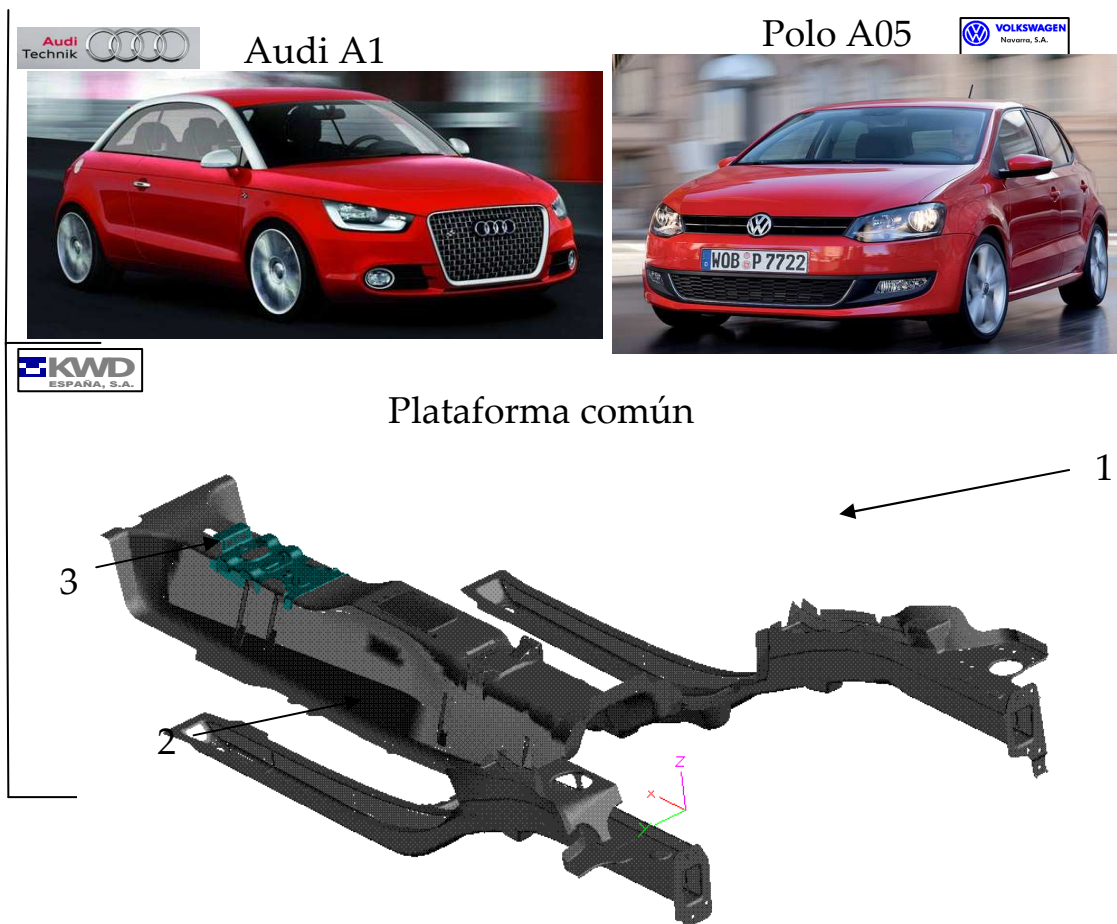
- **Faldón posterior** (repuestos A03 y A04): Es el cerramiento posterior del chasis del coche.
- **Marco puerta lateral** (modelo A05 3p)
- **Estructura interna del montante o pilar B** con refuerzo cinturón de seguridad (modelo A05 3p)
- **Refuerzo piloto iluminación trasero** (modelo A05)

A modo indicativo, en el dibujo que se incluye a continuación se pueden ver resaltadas dichas piezas y su ubicación concreta en el modelo Polo A05:



- Larguero anterior izqu.1
- Larguero anterior dcho.2
- Túnel A05.3
- Refuerzos pilotos.4
- Largueros superiores.5
- Marco puerta lateral.6
- Montante B Interior.7

En el siguiente dibujo esquemático se pueden ver los elementos que comparten la plataforma común A05/Audi:



Larguero anterior izqu.1  
Larguero anterior dcho.2  
Túnel A05 y A1 .3  
Denominación 6X0 Audi  
Denominación 6R0 polo  
A05



## 1.2. Características críticas del producto. Identificación de piezas con letra D

### 1.2.1 Definición

Como se ha citado en el apartado anterior los productos que se realiza en KWD pertenecen a la estructura del vehículo y deben de cumplir ciertas características críticas o de seguridad. Se entiende como característica de seguridad, aquella que si falla puede provocar que la pieza deje de cumplir la función que inicialmente le ha sido encomendada de forma imprevista y sin avisar al usuario, poniendo en peligro la integridad física del mismo. Dicho de otra manera, se define como característica crítica cualquier requerimiento de producto que pueda afectar directamente a la seguridad del mismo.

### 1.2.2 Simbología e identificación

El consorcio VW identifica dichas piezas en sus planos con la letra **D** y es por ello que el sistema de calidad de KWD adoptó esta misma letra en su documentación interna, además el consorcio automovilístico VW define como características D/TLD todas aquellas de las que exige documentación.

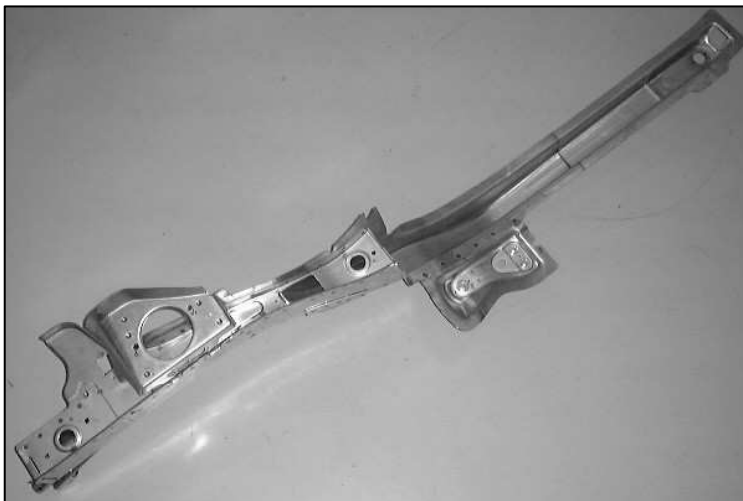
TLD significa en castellano, Regulaciones Técnicas para la Documentación (**TLD: Texchnische Litlinie Documentation**) Todas las características D/TLD se recogen en normas internas de obligado cumplimiento por nuestra parte y se identifican de la siguiente manera:

TLD	601	001	V	1	
					Grupo de vehículo: 1 = turismo, 7 = vehículos industriales
					Código del fabricante
					V: Volkswagen
					A: Audi
					M: VW Mexico
					E: VW Brasil
					L: SEAT
					S: Sudafrica
					T: Skoda
					K: Karmann
					Nº Correlativo dentro del grupo
					Nº del sistema constructivo: carrocería, sistemas de seguridad...
					TLD

La obligatoriedad del cumplimiento de las TLD's para los proveedores figura en el acuerdo para la gestión de la calidad entre el grupo VOLKSWAGEN y sus proveedores, editado por VW.

A continuación se citan brevemente las características D de 2 de nuestros productos:

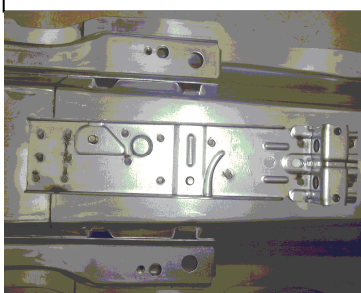
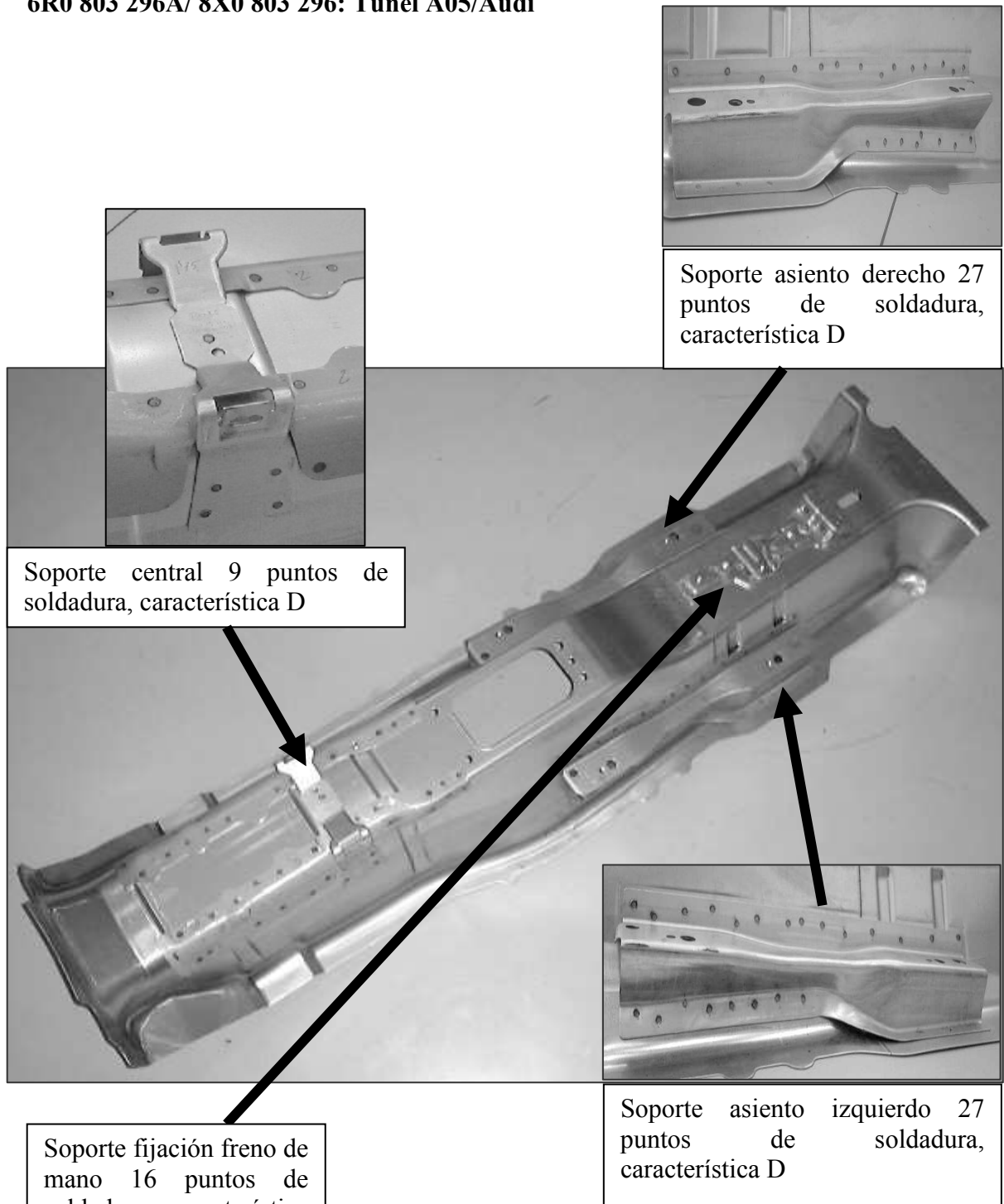
**6R0 803 091/092: Conjunto Larguero Anterior Izquierdo y Derecho**



Para estas piezas, tienen características D todos los puntos de soldadura porque estos conjuntos, se encargan de soportar una gran parte de la estructura autoportante del coche, además, también soporta el motor y debe de ser capaz de absorber una gran cantidad de energía tras un choque frontal.



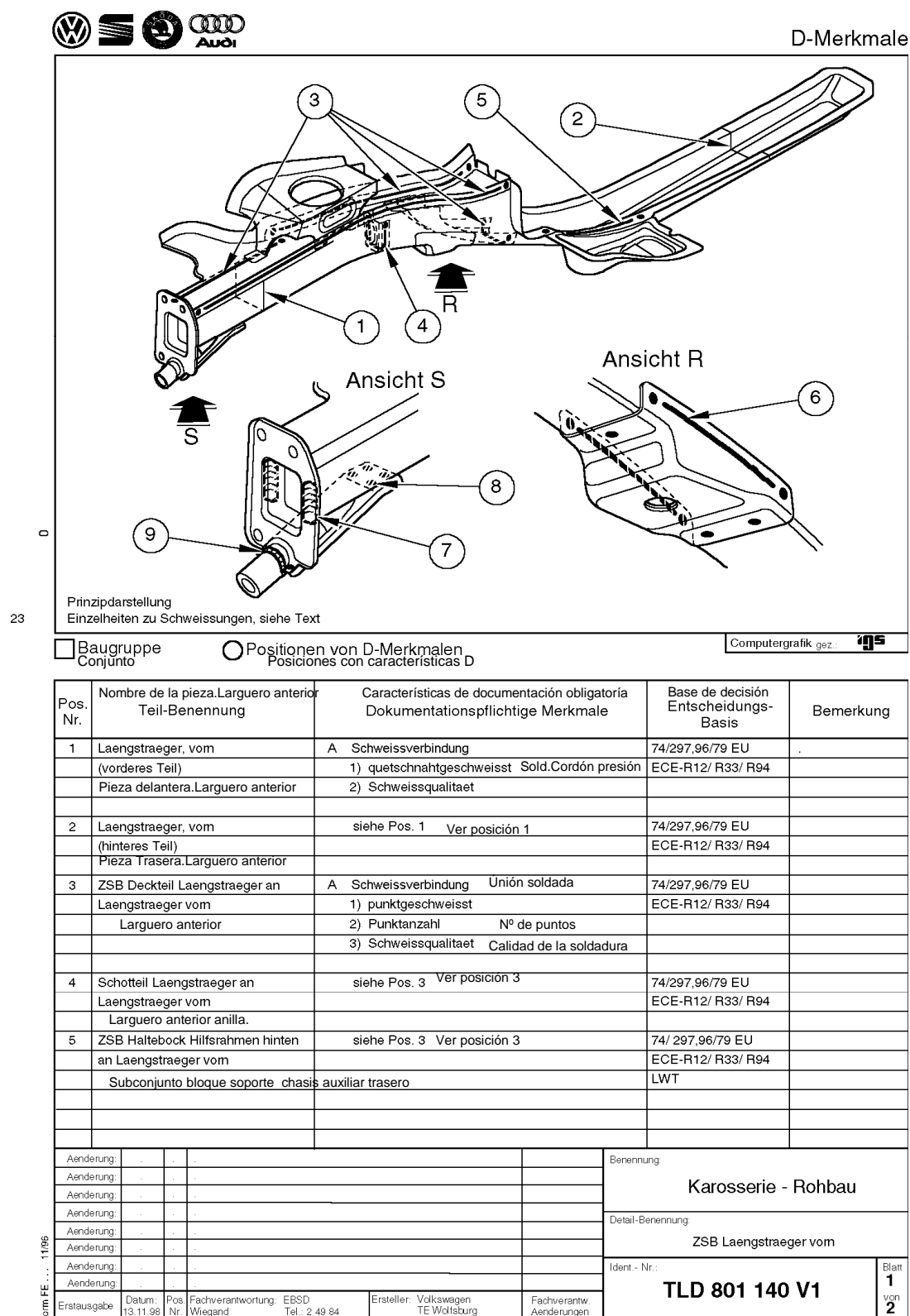
6R0 803 296A/ 8X0 803 296: Túnel A05/Audi





Tienen características D ambos soportes de asiento como se puede ver en la página anterior porque es en esta pieza donde van enganchadas las guías de los asientos, también las soldaduras del soporte freno de mano y las del soporte central.

### 1.2.3 Ejemplo hoja TLD grupo VW. Hoja documentación interna KWD



**KWD**  
ESPAÑA, S.A.

Especificación soldadura de seguridad 6R0 803 092  
6R0 803 092 RL (Ménsula larga) **A05**

**Características (D/TLD)**  
**Normas: TLD 801 140 V1**  
**Y TLD 801 158 V1**

Larguero anterior derecho-  
Cambios que tendrá el conjunto

Nuevos puntos schottplatte. Total 8

Ausencia de tuckers

Nuevo agujero tapa

Nuevo puntos solapa

Ménsula versión larga RL

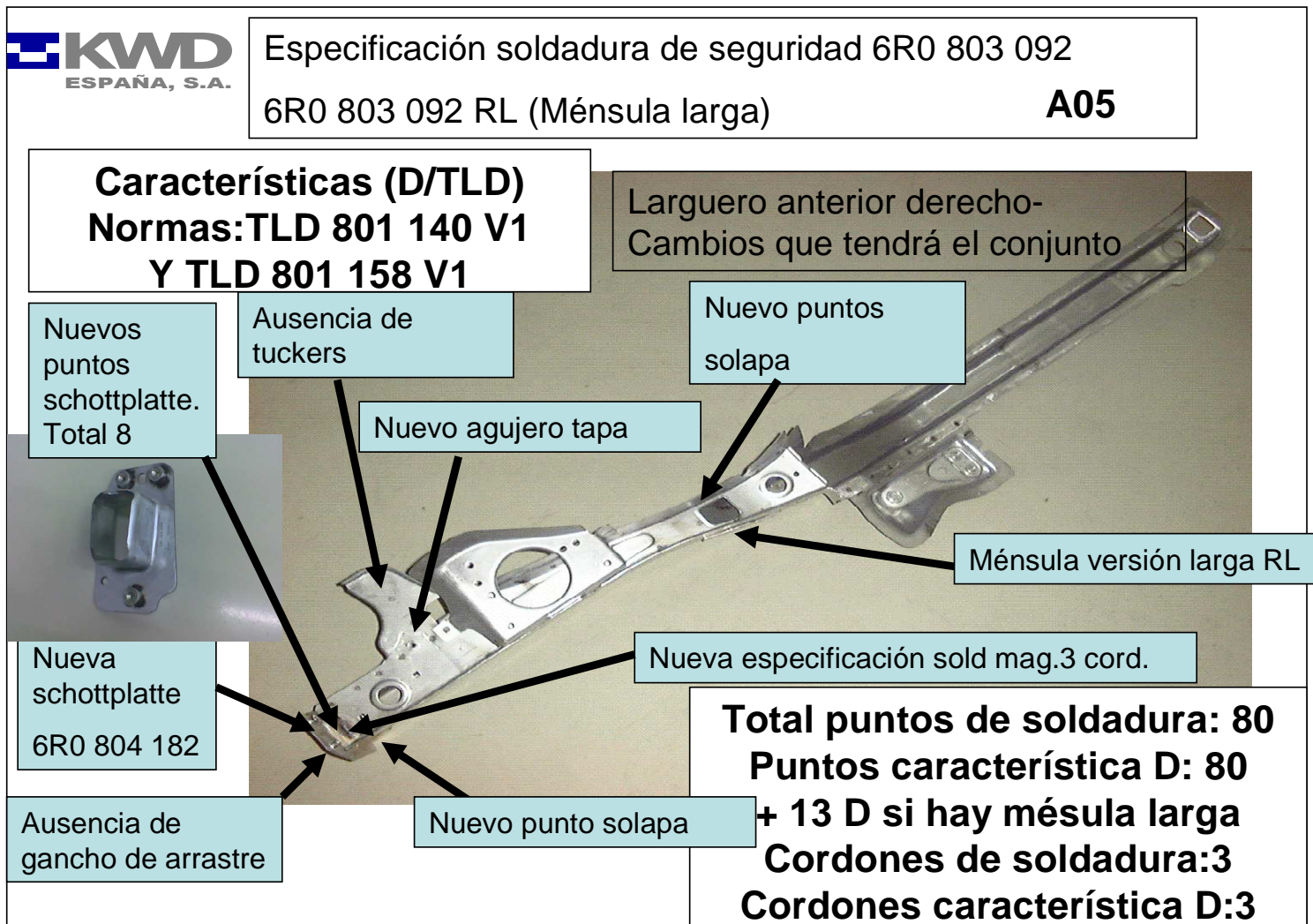
Nueva schottplatte 6R0 804 182

Nueva especificación sold mag.3 cord.

Ausencia de gancho de arrastre

Nuevo punto solapa

**Total puntos de soldadura: 80**  
**Puntos característica D: 80**  
**+ 13 D si hay ménsula larga**  
**Cordones de soldadura: 3**  
**Cordones característica D: 3**



KWD.02.17.01

rev.2



En la hoja del grupo VW se indican diferentes puntos con características D en larguero derecho, la columna donde aparece la base de decisión, hace referencia a directivas europeas que tratan acerca de requerimientos de seguridad, responsabilidades, condiciones que se estudian en crash test etc. En general son las directivas en las cuales el cliente se basa para considerar estas piezas con características “especiales”.

### 1.3 Tipología de aceros usados en el ensamblaje.

#### 1.3.1 Definición de acero

El acero es un material que nace de la aleación de mineral de hierro con el carbono, desde unas proporciones mínimas, hasta un porcentaje el 6,67% aproximadamente, cuando el porcentaje de carbono es igual o superior al 1,7% podemos definirlo simplemente como fundición, un material que por sí solo es muy duro pero a la vez muy frágil. Por debajo de esa cantidad, el material que se obtiene, se denomina acero, que presenta una dureza algo menor pero a la vez aumenta su elasticidad considerablemente. A menor proporción de carbono, mayor elasticidad presenta el acero en cuestión.

Para el mundo de la automoción se usan aceros cuyo contenido en carbono va desde el 0.02 al 0.1%

Como se ha citado anteriormente, la fabricación del acero se inicia a partir del mineral de hierro, coque (carbón transformado) y fundentes. En un primer proceso, se elimina el oxígeno que contiene el mineral de hierro en forma natural, el producto resultante se denomina arrabio y presenta una proporción de hierro del 95%, un 4% de carbono y el porcentaje restante son impurezas. El proceso de transformación del arrabio al acero se realiza en las propias acerías, donde se elimina el exceso del carbono y se purifica el acero que resulta.

A partir de este punto, el acero en estado líquido se transporta hasta un depósito llamado cuchara de colada, donde se sigue sometiendo a procesos de purificación posteriores.

Una vez purificado se deja solidificar pasando por unas lingoteras, después los bloques obtenidos se cortan en planchones de unos 20 cm de espesor.

En un proceso final cuando estos planchones se han enfriado se envían a los denominados trenes de laminación donde se adquiere el espesor deseado que debe tener el acero para los procesos posteriores a los que va a ser sometido como puede ser el estampado.



Existen dos tipos de laminación: Laminación en caliente, y laminación en frío. La primera, es un paso intermedio hacia la segunda y consiste en calentar de nuevo el acero y hacerlo pasar por unos rodillos o cilindros fijos que giran a la misma velocidad pero en sentido contrario; al ejercer la presión necesaria, se produce el alargamiento del acero y la reducción de espesor que se considere oportuno.

El producto obtenido es un bobina de acero que se hace pasar nuevamente por un tren de rodillos sin calentamiento de material (laminación en frío) donde se obtiene el producto final con unos espesores y un acabado superficial que es susceptible de recibir el tratamiento final contra la corrosión que proceda.

### 1.3.2 Clases de aceros

Tras la laminación del acero, es necesario someterlo a un tratamiento de recocido para homogeneizar su microestructura y mejorar sus propiedades mecánicas.

Una vez realizada dicha operación se pasa al tratamiento superficial que puede ser de dos tipos:

- Galvanizado al fuego o en caliente
- Cincado electrolítico

Estos tratamientos se realizan con el objeto de proteger al acero de la corrosión, no obstante como se verá posteriormente, el recubrimiento de las chapas afecta de manera negativa al proceso de soldabilidad del material, puesto que es necesario romper dicha capa previamente para garantizar la soldadura definitiva.

#### 1.3.2.1 Aceros galvanizados al fuego o en caliente

El proceso de galvanizado en caliente se realiza mediante un baño de Zinc en continuo de la chapa, la cantidad de Zinc se define por su peso por unidad de superficie y no por el espesor de la capa que se adhiere.

Este tipo de aceros se rigen por la normativa interna VW 501 11 que resulta ser una actualización de la norma Alemana DIN EN 10142 y presenta las siguientes características:

ELEMENTO	Valores de límite después del análisis de fusión	Variaciones admisibles
C	≤0,12%	0,02
Si	≤0,5	0,05
Mn	≤0,7	0,06
P	0,06 a 0,12%	0,01
S	≤0,030	0,005

La composición química de estos aceros responde a un acero blando sin alear. A este tipo de aceros normalmente se les somete a un tratamiento térmico de recocido de homogeneización con el fin de conseguir un material más uniforme en su microestructura y por lo tanto más blando; esto hace que el sea más fácil de trabajar en los sucesivos procesos y tratamientos a los que van son sometidos.

En cuanto a las propiedades mecánicas, a continuación se incluye una tabla donde aparecen a temperatura ambiente valores de resistencia a tracción, límite de alargamiento, etc.

TIPO ACERO NOMBRE ABREVIADO	DE	LÍMITE DE ALARGAMIENTO $R_p$ N/mm <sup>2</sup>	RESISTENCIA A LA TRACCIÓN $R_m$ N/mm <sup>2</sup>	ALARGAMIENTO DE ROTURA $A_{80}$ %MIN
St03 St03 ZF	Z	140 a 300	270 a 420	26
St05 St06 ZF	Z	140 a 260	270 a 380	30
St06 St06 ZF	Z	140 a 260	270 a 350	40
St07 St07 ZF	Z	140 a 180	270 a 350	43
ZStE 220 ZStE 220 ZF	Z	220 a 330	340 a 420	28
ZStE 220 P		220 a 280	340 a 420	34
ZStE 260 ZStE 260 ZF	Z	260 a 340	350 a 430	24
ZStE 260 P		260 a 320	350 a 450	32
ZStE 300 ZStE 300 ZF	Z	300 a 380	380 a 480	22
ZStE 300 P		300 a 360	420 a 500	28
ZStE 340 ZStE 340 ZF	Z	340 a 440	410 a 530	18

La nomenclatura utilizada para este tipo de aceros es la siguiente:

**St            n°1            letra 1            n°2            letra2**

**ZstE            n°1            letra 1            n°2            letra 2**

ZstE ó St hace referencia a la clase de acero que es

- n°1 hace referencia al límite de alargamiento
- La letra 1 hace referencia al tipo de recubrimiento que lleva, este puede ser:



- a) capa de zinc normal por ambos lados “Z”
- b) capa de zinc unilateral “Z” (Sólo en casos especiales se usa identificación mediante/00)
- c) Aleación de Zinc- hierro “ZF”. El recubrimiento de zinc se transforma en una capa de Zinc y hierro con  $(11 \pm 4) \% \text{ Fe}$  mediante tratamiento térmico (recocido de difusión)

- nº2 hace referencia al espesor mínimo de la capa de zinc, estos se indican en la siguiente tabla:

Grupo de recubrimiento de zinc. Capa de zinc	Recubrimiento de zinc g/m <sup>2</sup> mín				Grosor de capa unilateral µm
	Probeta de 3 superficies		Probeta de superficie única		
	unilateral	bilateral	unilateral	bilateral	
Z 75		75		65	5 a 10
Z 100		100		85	6 a 12
Z 100/00 <sup>4)</sup>	100		85		10 a 18
Z 140		140		120	8 a 14
Z 200		200		170	10 a 18
ZF 100		100		85	6 a 12
ZF 140		140		120	8 a 14

- Las dos últimas letras hacen referencia al acabado superficial:

a) La primera hace referencia al tipo de superficie. Estas pueden ser:

- Flor de Zinc usual “N”
- Flor de Zinc pequeña “M”
- Aleación de Zinc- Hierro “R”

b) La segunda hace referencia al tipo de superficie. Estas pueden ser:

- “A” es el tipo de superficie usual
- “B” y “C” se consiguen mediante relaminación en frío. El tipo de superficie “B” puede presentar una pequeña cantidad de imperfecciones.
- En el tipo “C” el lado mejor controlado no debe de afectar el aspecto uniforme de un lacado o pintura de calidad. El otro lado debe de corresponderse como mínimo al tipo de superficie “B”

### 1.3.2.2 Aceros cincados electrolíticamente:

Con el zincado electrolítico, conseguimos depositar la capa de Zinc a través de un proceso en el cual juega un papel importante el potencial de oxidación de este elemento, conseguimos que este actúe como ánodo frente al acero, pues de esta forma haremos que sea este último el que no se oxide. Este procedimiento presenta una peculiaridad interesante frente a otros métodos, ya que la protección queda asegurada incluso si tenemos una discontinuidad en el revestimiento por ralladuras o picado del material.

Su composición química es prácticamente idéntica a los de la clase ZSt y St vistos con anterioridad, aunque su proceso de fabricación es diferente.

Tipo de Acero	División		Tipo de Superficie	Composición química			
Nombre abreviado	Nº de material		A B	C%	P%	S%	Mn%
DC01+ZE	1,033	Acero de calidad sin aleación	A B	0,12	0,045	0,045	0,6
DC03+ZE	1,0347	Acero de calidad sin aleación	A B	0,1	0,035	0,035	0,45
DC04+ZE	1,0338	Acero de calidad sin aleación	A B	0,08	0,03	0,03	0,4
DC05+ZE	1,0312	Acero de calidad sin aleación	A B	0,06	0,025	0,025	0,35
DC06+ZE	1,0873	Acero de calidad sin aleación	A B	0,02	0,02	0,02	0,25

Se denominan según la norma DIN EN 10 152, como sigue por el orden indicado:

- Denominación del producto
- Numero de la norma (DIN EN 10 152)
- Denominación completa para el tipo de acero (por ejemplo, DC05+ZE 75/25-BPO)
- Cifra para el espesor de recubrimiento (Por ejemplo 50/50 = espesor de 5.0µm); Ver tabla de recubrimientos.
- Letra A o B para la clasificación del revestimiento.
- Letra para el tratamiento del recubrimiento



Los recubrimientos de la tabla siguiente se aplican a aceros cincados electrolíticamente de la misma manera en los dos lados:

Denominación	Recubrimiento nominal de Zinc en cada cara		Valor mínimo de Zincado	
	Espesor $\mu\text{m}$	Peso g/m <sup>2</sup>	Espesor $\mu\text{m}$	Peso g/m <sup>2</sup>
ZE 25/25	2,5	18	1,7	12
ZE 50/50	5	36	4,1	29
ZE 75/75	7,5	54	6,6	47
ZE 100/100	10	72	9,1	65

En la denominación se indica la capa de recubrimiento como valor décuplo del grosor de la capa nominal en  $\mu\text{m}$ , separado para ambos lados.

### 1.3.3 Calidad de acabado superficial para aceros galvanizados en caliente

Los productos galvanizados en caliente, se suministran con uno de los dos tipos de superficie A ó B.

#### - Superficie tipo A:

Se admiten defectos como poros, pequeñas estrías, pequeños botones, ligeros arañazos y una ligera decoloración, que no afectan la aptitud para la transformación y la adherencia de recubrimientos de superficies.

#### - Superficie tipo B:

La superficie mejor acabada debe estar libre de defectos hasta el punto, de que no quede afectado el aspecto uniforme de un lacado de calidad. En el caso de un zincado unilateral se aplica este requerimiento al lado no zincado. El otro lado deberá corresponder como mínimo a los requerimientos de la superficie tipo A





### 1.3.4 Tratamiento de superficie de aceros galvanizados

La chapa zincada electrolíticamente ó en caliente se puede suministrar con distinto tratamiento superficial atendiendo a su nomenclatura, se pueden identificar el tipo de sustancia que presenta el acero:

Letra característica	Tipo de tratamiento superficial
P	fosfatado
PC	fosfatado y tratamiento químico
C	pasivado químico
PCO	fosfatado, tratamiento químico y engrasado
CO	pasivado químico y engrasado
PO	fosfatado y engrasado
O	engrasado
U	sin tratamiento de superficie

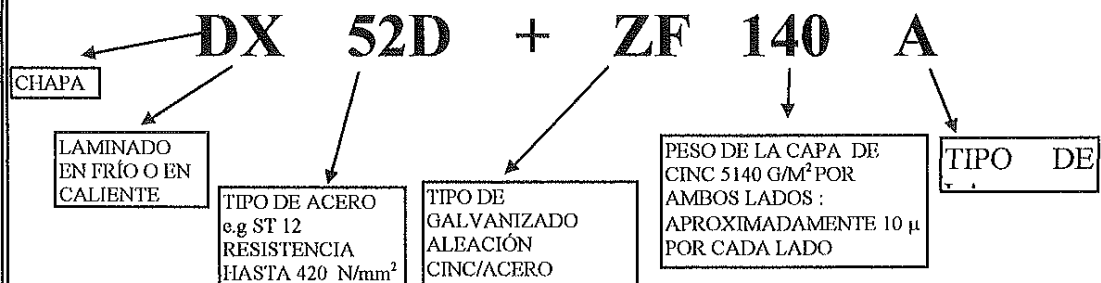
Con el tratamiento superficial se consigue proteger la chapa durante el transporte del peligro de la corrosión por humedad y agentes externos, la máxima protección se consigue con el tratamiento de fosfatado seguido de un proceso químico y un engrasado de la chapa (PCO).

## 1.4 Resumen nomenclatura aceros

### Características de las chapas galvanizadas por inmersión en caliente

- Espesores del material base entre 0,4 y 3mm
- Forma en la que es suministrada: bobinas o planchas
- La capa de cinc se especifica en  $\text{g/m}^2$
- “Sendzmir galvanised” = otra forma de denominar la inmersión en caliente
- Los espesores más comunes son:  $140 \text{ g/m}^2$   $275 \text{ g/m}^2$   $450 \text{ g/m}^2$
- Factor de conversión de  $\text{g/m}^2$  a  $\mu$ : división por 7,1  
e.j  $275 \text{ g/m}^2 : 7,1 = 38 \mu = 19 \mu$  por cada lado

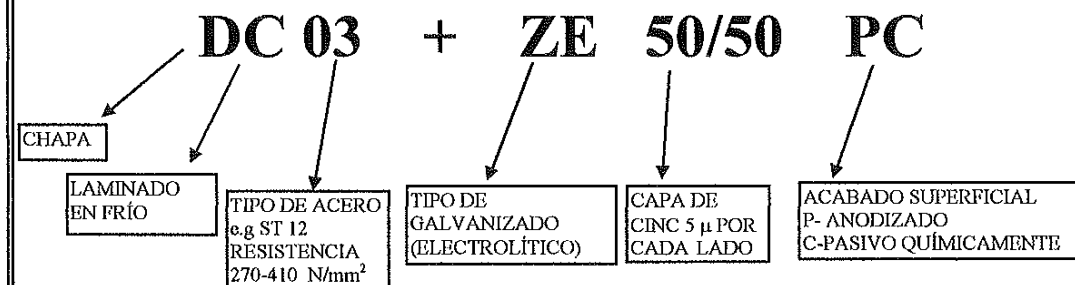
### Designación de las chapas galvanizadas en caliente según DIN EN 10142



### Características de las chapas galvanizadas electrolíticamente

- Espesores del material base 0,5-3mm
- Forma en la que es suministrado: bobinas o planchas
- Espesor de la capa de cinc se especifica en  $\mu$  ( $0.001\text{mm}$ )
- El baño de cinc puede ser aplicado sobre una o ambas caras, o puede variar de espesor
- Los espesores más comunes de la capa de cinc son  $2,5 / 5 / 7.5 / 10 \mu$  por cara

Como entender la nomenclatura de las chapas electrolíticamente galvanizadas (Norma DIN EN 10152)



Otras propiedades físicas a tener muy en cuenta para el proceso de soldadura por resistencia son las que figuran en la siguiente tabla:

Material	Temperatura de fusión (°C)	Densidad (g/cm <sup>3</sup> )	Coeficiente de Dilatación	Conductividad Térmica	Resistividad ( $\rho$ $\mu\Omega/\text{cm}^2$ )
Zn	418	7.14	$39.7 \cdot 10^{-6}$	0.27	5.9
Acero	1500	7.85	$12 \cdot 10^{-6}$	0.11	11

### 1.5 Ventajas e inconvenientes de la utilización de chapa galvanizada

Las ventajas de utilización de chapa galvanizada en la industria del automóvil como elemento integrante de la carrocería hacen referencia al efecto anticorrosivo que posee este tipo de material, en cuanto a los inconvenientes que presenta su utilización, se puede decir que se centran exclusivamente en el ensamblaje de la carrocería, lo cual afecta directamente al proceso de producción en KWD que en este caso es el propio proceso de soldadura. Además del problema de soldabilidad del que se hablará más adelante de forma concreta y específica, se derivan una serie de problemas añadidos a este proceso:

#### ***Problema medioambiental***

El punto de fusión del cinc es de unos 418°C, con la soldadura alcanzamos rápidamente esa temperatura lo que provoca continuas emulsiones de gases de Zinc. La mayoría de estas emulsiones de gas son absorbidas por el sistema de evacuación de gases si verdaderamente este es efectivo, de lo contrario, puede ser un serio problema de salud para los trabajadores.

#### ***Problema de mantenimiento***

La soldadura por resistencia de chapa galvanizada exige un aumento de intensidad de soldadura, tiempos de paso de corriente y aumento de rectificado de los electrodos, además, el propio recubrimiento de Zinc hace que la soldadura por puntos provoque proyecciones que dañen elementos de las instalaciones y máquinas empleadas, todo ello requiere mayor control e intervención por parte del servicio de mantenimiento de la empresa.

## Problema de producción

La productividad en este tipo de instalaciones de soldadura se ve disminuida en comparación con otras; esto es debido a que la soldadura de chapa galvanizada produce un mayor tiempo de paradas de producción para mantener la instalación en condiciones ideales, de no ser así la calidad del producto descendería considerablemente y esto es algo inadmisibles en piezas consideradas como elementos que afectan a la seguridad del vehículo como son precisamente todas las que se ensamblan en la empresa.

Al mismo tiempo se limita mucho la vida de los electrodos, si los comparamos con los que se utilizan para el soldeo de chapa negra (sin recubrimiento) por lo que el cambio es más frecuente, con las consiguientes paradas. Debemos de sumar también la multitud de microparadas que ocurren por errores de soldadura propiciados precisamente por el recubrimiento de Zinc.

## 2. Aspectos teóricos de la soldadura por resistencia

El proceso de formación de un punto de soldadura es a simple vista sencillo de explicar: Básicamente lo ocurre que es que una corriente eléctrica circula desde un electrodo a otro atravesando las chapas que queremos soldar. Estas chapas ofrecen una resistencia al paso de la corriente provocando justo el efecto que deseamos conseguir, la resistencia provoca el calentamiento controlado de la chapa alcanzando así su punto de fusión.

Este calor es proporcional al valor de la resistencia producida y aumenta con el cuadrado de los valores de la intensidad, es decir, con doble resistencia obtenemos doble energía aportada en forma de calor y con doble intensidad, hasta cuatro veces más de calor, de acuerdo a la fórmula que expresa la ley de Joule:

$$E = I^2 \cdot R \cdot t$$

Cuando se inicia el proceso de soldadura la corriente eléctrica va atravesando diferentes tipos de resistencias:

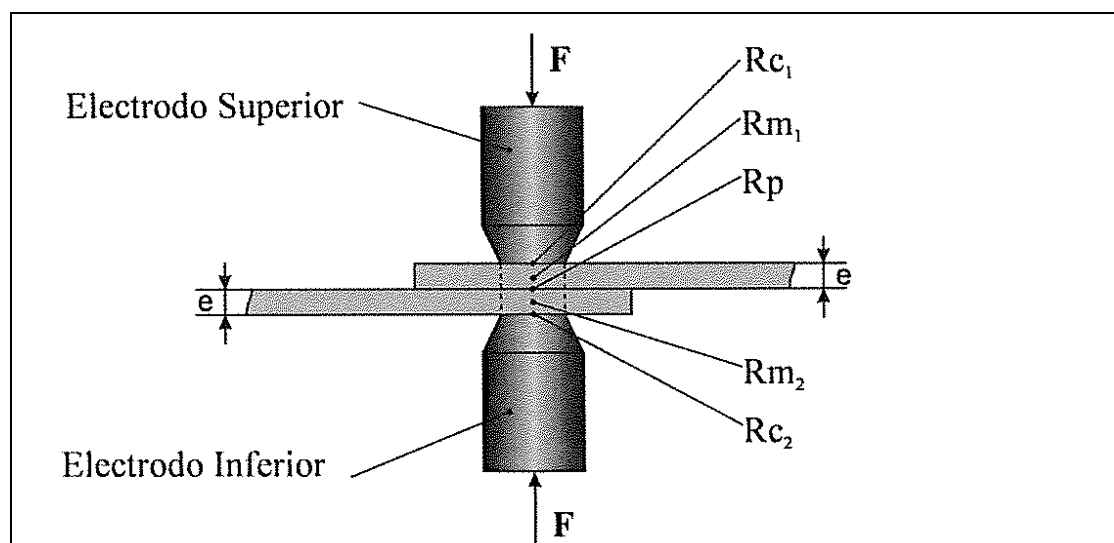


Figura 2.1 Resistencias presentes en un proceso de soldadura por puntos

**$R_p$ :** Es la resistencia de contacto presente entre las dos chapas a soldar y dónde precisamente queremos que se deposite toda la energía en forma de calor durante el proceso de soldeo. Si aumentamos el módulo de dicha fuerza, se reduce considerablemente el valor de esta resistencia.

**$R_{m_1}$  y  $R_{m_2}$ :** Se trata de las resistencias propias del material medida a temperatura ambiente está resistencia aumenta considerablemente a medida que la corriente va atravesado el material, los efectos de dicha resistencia son inevitables pero a la vez necesarios durante el proceso de soldeo ya que nos genera el calor principal para que se funda el material y se produzca la lenteja.

**$R_{c_1}$  y  $R_{c_2}$ :** Como se puede ver en la figura, son las resistencias de contacto entre los electrodos y la chapa a soldar, son la principal fuente de problemas del proceso de soldadura y el objetivo debe de ser siempre minimizar sus consecuencias, reducir la resistencia de contacto electrodo-chapa es indispensable si queremos que la vida del electrodo sea la correcta, ello se consigue aumentando el esfuerzo o presión de contacto entre los electrodos y las chapas a soldar.

Las resistencias descritas anteriormente, van variando a lo largo del proceso, inicialmente están presentes todas ellas, pero conforme se desarrolla la soldadura, desaparece la  $R_p$ , justo en el inicio de la lenteja, entonces, la resistencia principal la ofrecen ya las chapas a soldar que se convierte finalmente en una sola cuando ambos materiales alcanzan el punto de fusión.

En cuanto a las resistencias de contacto electrodo- chapa también se van reduciendo, al mejorar el contacto entre chapas y aumentar la presión entre ellas.

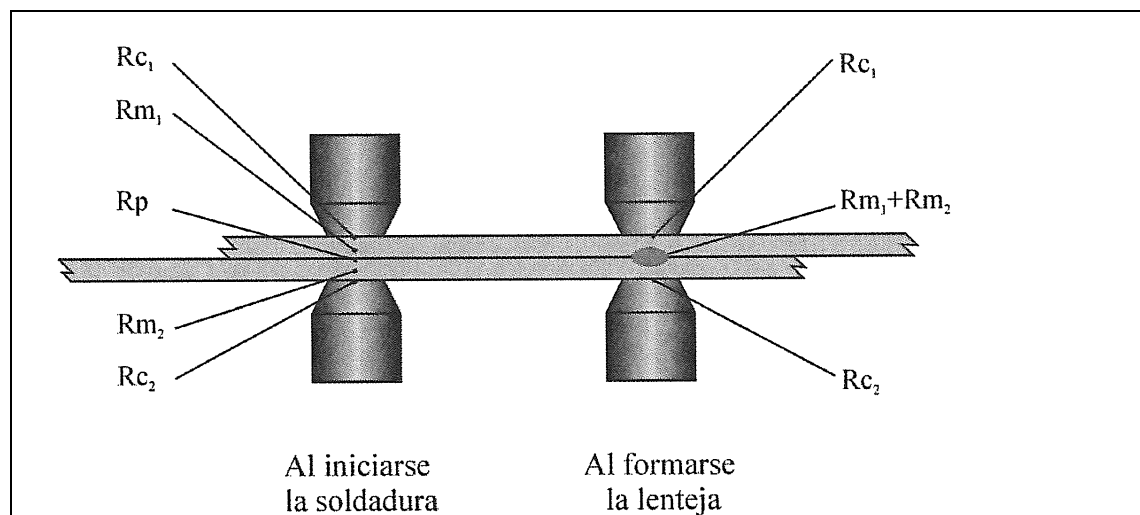


Figura 2.2



Es imprescindible durante el proceso de soldadura que el centro donde se produce la fusión y la consiguiente lenteja, coincida con el punto de contacto de las dos superficies a soldar, esto a veces no se puede conseguir directamente y es necesario reajustar algunos parámetros, por ejemplo cuando se da el caso de estar soldado chapas de acero galvanizadas de diferente espesor y material y por consiguiente, diferente conductibilidad eléctrica.

En el proceso de soldadura de KWD se dan casos de tener que soldar chapa no revestida (chapa negra) de un grosor considerable con chapa zincada en caliente o electrogalvanizada, generalmente el efecto que ocurre es un desplazamiento de la zona de fusión y de la lenteja hacia la chapa más gruesa (véase figura 2.3 en la pagina siguiente) porque al tener más material ofrece más resistencia al paso de corriente.

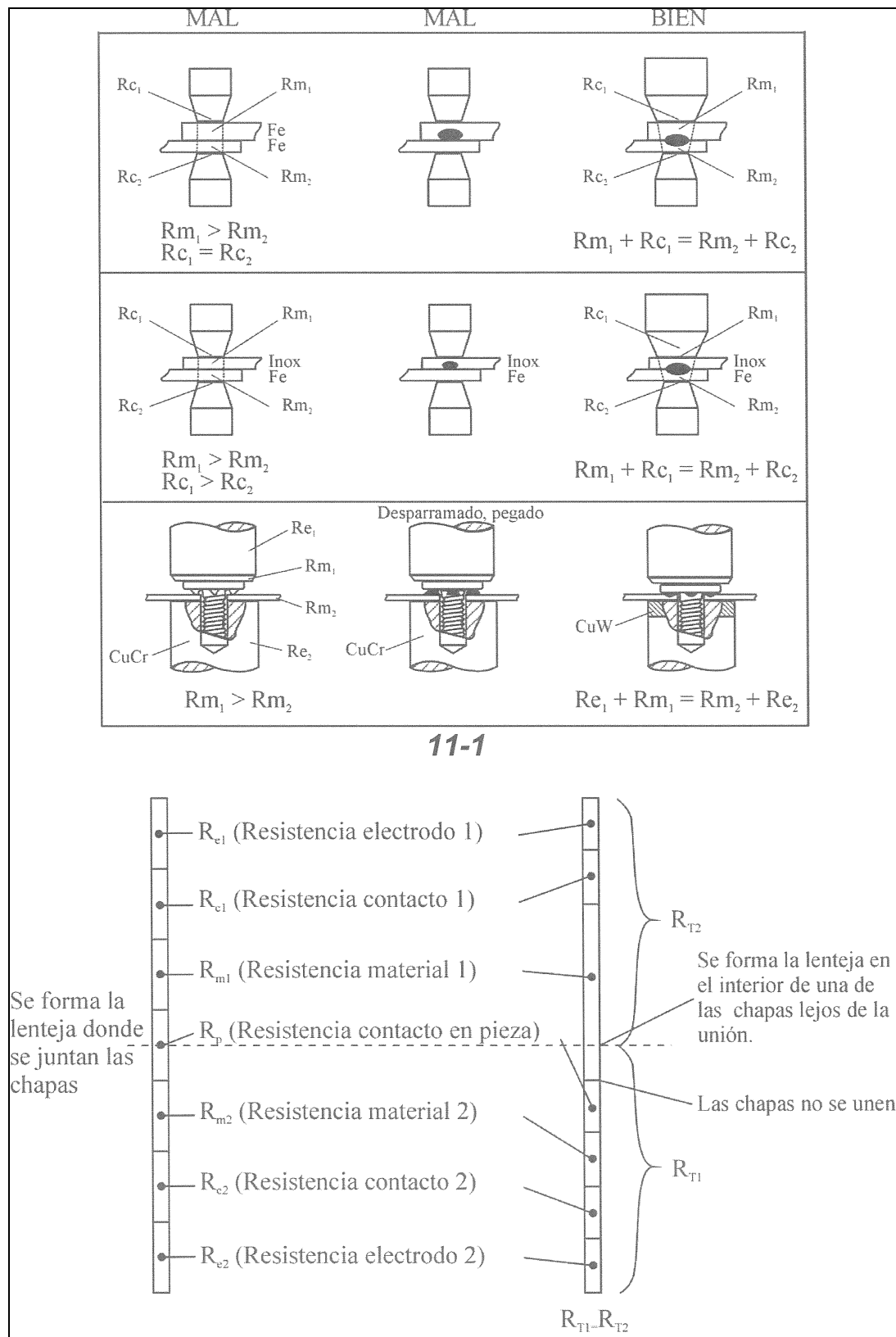


Figura 2.3



El peligro de esta situación es que el punto este suelto, algo totalmente inadmisibile. En tales casos lo que se debe hacer es actuar variando las resistencias eléctricas que ofrecen las chapas, el proceso en cuestión es bastante complicado y se debería actuar sobre:

-Conductividad eléctrica de los Caps. No podemos actuar sobre esta característica a no ser que modifiquemos el tipo de cap.

-Diámetros de las caras activas de los electrodos. Tampoco podríamos intervenir en este apartado porque el diámetro de la lenteja y el punto de soldadura viene establecido por parte del cliente, y esta medida está asociada directamente con el diámetro de la cara activa de los electrodos. Si el proceso es el correcto, si que se puede establecer una relación directa entre el diámetro y la calidad del punto (lenteja correcta), aunque la forma de verificar esto es desbotonar la soldadura para comprobar sus medidas o en su caso comprobar su correcta formación a través del ensayo por ultrasonidos para después, complementarlo con un ensayo de tracción que nos muestre la resistencia del mismo.

## 2.1 Identificación de las variables que intervienen en el proceso de soldadura por resistencia

Para poder establecer un buen control de calidad en soldadura, debemos tener correctamente identificadas todas aquellas variables que interviene en el proceso y que son susceptibles de ser modificadas en perjuicio o en beneficio de la calidad de la soldadura. A título informativo, se identifican y clasifican las variables que intervienen en el proceso en cuestión.

### a) Variables relativas a la materia prima

1. Geometría de las piezas a soldar
2. Espesor de las planchas a soldar
3. Tipo de recubrimiento anticorrosión. Electrocinado o galvanizado
4. Espesor del recubrimiento de zinc
5. Suciedad de las chapas, aceitado, etc.

### b) Variables relativas a los parámetros de soldadura

1. Intensidad de corriente
2. Numero de impulsos de soldadura
3. Función de slope
4. Tiempos de apriete y forja
5. Fuerza en puntos de los electrodos
6. Regulación de la corriente
7. Funciones de reajuste de potencia





c) Variables relativas al estado de los electrodos

1. Diámetro de la cara activa del electrodo
2. Vida del electrodo
3. Material de fabricación
4. Conductividad Calorífica
5. Geometría
6. Frecuencia de fresado

d) Variables relativas al circuito de refrigeración

1. Caudal de agua en red
2. Estado de los filtros
3. Estado de del circuito interno de refrigeración de las pinzas

e) Variables relativas al estado mecánico de las pinzas

1. Embocaduras
2. Circuito neumático: Cilindros, Servo, distribuidor
3. Alineamiento de los electrodos
4. Morfología de las pinzas

f) Variables relativas a la función de fresado de los electrodos

1. Estado de las cuchillas
2. Estado de la jaula portacuchillas
3. Posición del tubo de soplado

a) Variables relativas al circuito de soldadura

1. Existencia de derivaciones
2. Estado del circuito secundario
3. Estado de la sonda de corriente
4. Estado de los tiristores

El presente proyecto no tiene como objetivo entrar a valorar todas estas variables, tan sólo interesa conocer las variables relacionadas con el control de soldadura como son Intensidad, Tiempo de apriete y forja así como la presión de los electrodos ya que estas son las que están directamente implicadas en la calidad del punto de soldadura y sobre las que se actúa principalmente cuando tenemos problemas de calidad.

## 2.2 Particularidades del proceso de soldadura de chapa galvanizada

Para obtener una lenteja fundida compuesta por el acero de las dos chapas a soldar, puede no haberse producido a pesar de que el aspecto exterior parezca correcto cuando se tratan de chapa galvanizada como es en nuestro caso.

Si no se han empleado los parámetros de fuerza, corriente y tiempo adecuados existe el peligro de fundir sólo las capas de Zinc y producir una encoladura o soldadura blanda, pues como hemos citado con anterioridad, los  $418^{\circ}\text{C}$  de fusión del Zinc se alcanzan rápidamente y si la presión aplicada no ha sido capaz de “romper” esa piel fundida, varias veces mejor conductora de la electricidad que el acero, la corriente circulará a través de toda la capa de Zinc por no haberse puesto en contacto el acero de las piezas a soldar y no se concentrará el paso de corriente en una pequeña superficie que es lo que produce la lenteja deseada. (ver Figura 2.4)

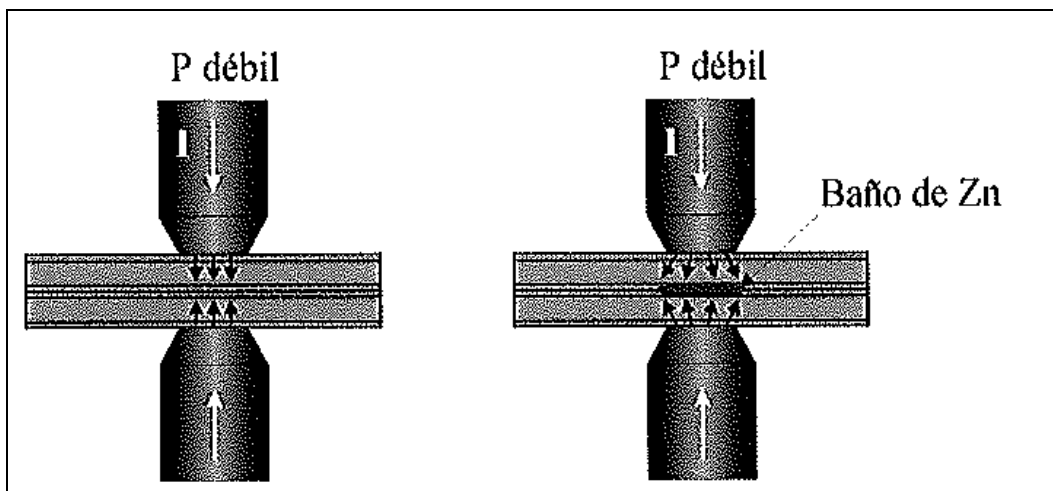


Figura 2.4. Punto encolado. No se ha producido la lenteja porque no se rompe la capa de cinc

La conductividad eléctrica del Zinc tiene también como inconveniente que cuando estamos soldando puntos próximos entre sí el desvío de corriente es importante y por eso se debe de tener en cuenta al decidir la situación de los puntos y al programar el control para efectuarlos.

Veamos detalladamente que es lo que ocurre cuando formamos una lenteja de soldadura en este tipo de chapas:

- La resistencia propia del electrodo con la chapa, ahora se ve incrementada por la capa de Zinc. El Zinc tiene una resistencia al paso de corriente eléctrica, en frío, cerca de dos veces y media mas alta que el cobre pero a su vez otro tanto más baja que el acero, por lo tanto, con el cobre del electrodo limpio se puede efectuar una primera soldadura sin problemas y con los mismos valores que el acero sin recubrir.

- En las zonas de contacto se alcanzan temperaturas de mas de  $500^{\circ}\text{C}$  y como el Zinc funde a  $418^{\circ}\text{C}$  y se vaporiza a  $980^{\circ}\text{C}$  ya en esa primera soldadura se inicia en la cara activa del electrodo la fabricación de un mal latón, peor conductor de la electricidad y el calor que sus dos componentes por separado además de poca resistencia al aplastamiento en caliente. Ya se empieza a deteriorar el electrodo en esta soldadura y cada vez se deteriora más rápidamente. Lo que hará necesaria un mayor frecuencia de reavivación del electrodo mediante el fresado.
- En la zona de contacto entre las dos chapas, al fundirse el Zinc y ser este mucho mejor conductor que el acero, tiende a repartir el paso de corriente por un área mayor, con lo que perjudica la formación de la lenteja. Este es motivo más que suficiente para emplear fuertes presiones que expulsen el zinc hacia los bordes de la lenteja y así concentrar mejor la corriente que forma la lenteja en cuestión formándose alrededor de esta un anillo protector de zinc (ver figura 2.5).

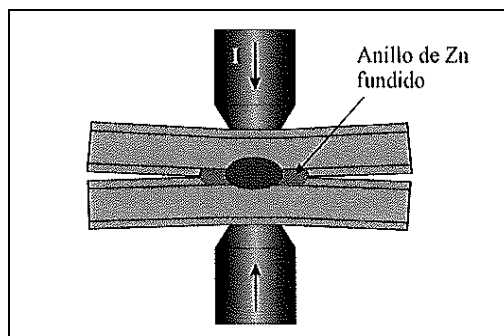


Figura 2.5

### 3. Elementos fundamentales de una instalación automática de soldadura por resistencia

#### 3.1 Autómatas y control de soldadura

La programación de la soldadura, se realiza a través de ordenadores centrales o autómatas que pueden secuenciar todos los robots y pinzas con sus respectivos controles que pueda tener una instalación como es en nuestro caso.

Los autómatas establecen la vía de comunicación mediante puertos que pueden ser de diferentes tipos: Interbús, Profibús, Device net, etc. En nuestro caso se utiliza el Profibús.

Entrando en lo que es propiamente el control de soldadura, podemos decir que es la máquina mediante la cual se programa y se controla individualmente cada pinza de soldar.

Así pues, la ejecución de un punto de soldadura no es más que un cortocircuito provocado y controlado de corriente eléctrica, cuyos parámetros principales son Intensidad [kA], Tiempo [periodos], y fuerza de presión de los electrodos [kN].

### 3.2 Tiristores

Un tiristor es básicamente un gran interruptor de corriente pero con la particularidad de que es muy rápido y sólo conduce en un solo sentido. Es decir cuando la semionda de corriente lo polariza. Cada control de soldadura tiene asociado un grupo de tiristores y a su vez están conectados entre sí en anti paralelo. Un tiristor consta de los siguientes elementos; Ánodo, Cátodo y una puerta.

El tiristor conduce la corriente cuando le llega un impulso de cebado emitido por el control de soldadura que le llega a través de la puerta, y deja de conducir al paso por cero de la onda de tensión.

Los tiristores trabajan con grados escala, es decir, el control dispara al tiristor cuando tenemos un determinado valor en grados que a su vez le corresponde una tensión eficaz, el motivo de colocar dos tiristores en antiparalelo para cada control responde al hecho de aprovechar toda la onda de corriente alterna, un tiristor para la semionda positiva y otro tiristor para la negativa.

Otro elemento es el varistor que se encarga de proteger a los tiristores si se dan picos circunstanciales de corriente.

También los tiristores van refrigerados aprovechando el circuito hidráulico de refrigeración de las pinzas y las instalaciones de soldadura en general.

Además tenemos el trafo de sincronización que le chiva al control, la posición de la onda de tensión y a que grados escala se sitúa, así sabe cuando debe de mandar el impulso de cebado a los tiristores.

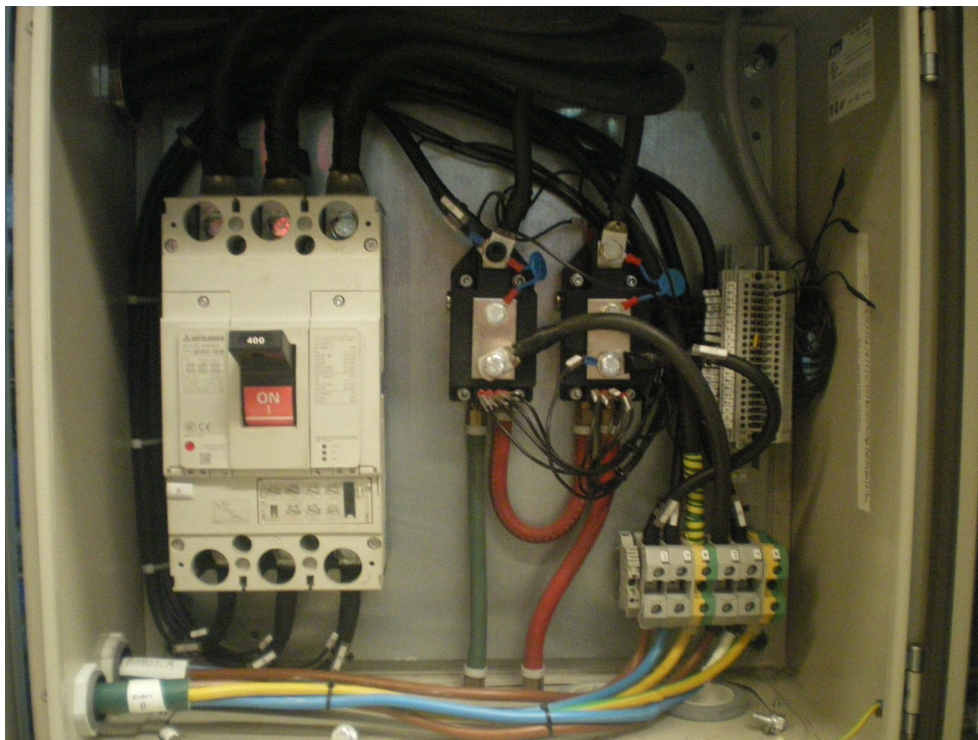


Figura 3.1 Grupo de tiristores

### 3.3 Pinzas de soldadura

En lo que es la propia pinza de soldadura, se pueden distinguir 3 tipos de circuitos:

- A. Circuito Eléctrico: Tenemos el cable de potencia que conecta el transformador de la pinza con los tiristores anteriormente citados. El transformador convierte los 380V aprox. de tensión de red a una tensión de salida de unos 10 voltios.
- B. Cable de maniobra: A través del cual llegan las señales de las electroválvulas y salen las señales de detección.
- C. Circuito neumático: Se tiene en cuenta los cilindros de soldadura y los cilindros de compensación de las pinzas
- D. Circuito de refrigeración: En este apartado se encuentran todas las canalizaciones de agua tanto de entrada como retorno que tienen como objeto disipar el calor generado en las puntas (Electrodos y portaelectrodos) y en el circuito secundario

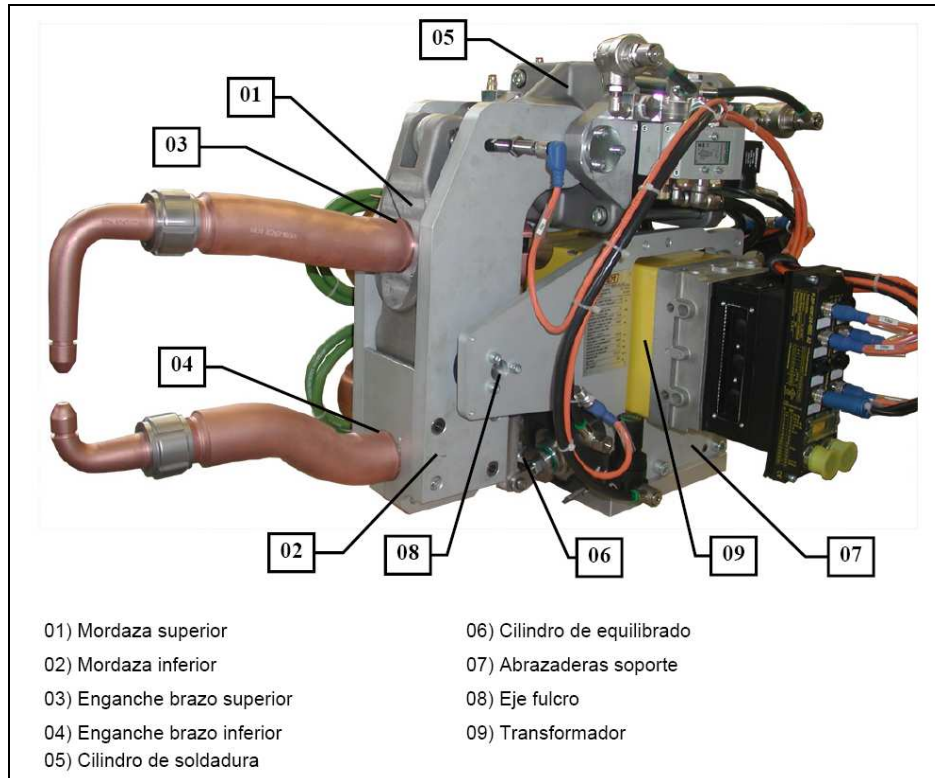


Figura 3.2 Elementos básicos de una pinza de soldadura



### 3.4 Reguladores de presión

Estos elementos tienen la misión de controlar la presión ejercida por las pinzas durante el proceso de soldeo, generalmente son electroválvulas para pinzas móviles y reguladores manuales para pinzas fijas, en KWD se dispone de ambos modelos con lo cual tenemos de uno u otro tipo. Mayoritariamente se disponen de servoválvulas de señal analógica entre esta y el control, además informan mediante un display del valor de presión en cada situación de la pinza (reposo o trabajo)



Figura 3.3 Display de presión neumática

### 3.5 Electrodo

Son los elementos fundamentales encargados de realizar el punto de soldadura y tienen una elevada incidencia en los costes y la calidad de fabricación. A nivel general los electrodos deben de presentar las siguientes características:

- Deben de tener muy poca resistencia al paso de corriente. Esta característica se indica comparándola con la conductibilidad del cobre puro al que se le asigna el 100 IACS.
- Debe de ser muy buen conductor del calor para que sea capaz de ceder la energía producida durante el proceso de soldeo al circuito de refrigeración de las pinzas
- Que no se produzcan aleaciones en la superficie de su cara activa con el fin de obtener la mejor calidad posible durante el proceso de soldeo.

Los materiales más usados para la fabricación de los electrodos tienen como base el cobre puro que se alea con otros metales como el cromo, el cadmio, el níquel, plata etc. Existen varias clasificaciones de electrodos pero nos centraremos en comentar exclusivamente los utilizados en KWD. Estos electrodos están englobados dentro de la clase A y se pueden suministrar forjados, fundidos y en muy numerosas formas y dimensiones.

A su vez, y atendiendo a sus materiales de fabricación y propiedades, los electrodos que se consumen son de la clase A 2/2. Son electrodos fabricados a base de una aleación de cobre, cromo y circonio (CuCrZr) esta aleación es la más empleada, la de mayor consumo y la que tiene más posibilidades de suministro por su cualidad de una elevada Dureza a altas temperaturas combinada con una buena conductibilidad eléctrica (70-80% IACS). Se puede comprobar en la tabla 3.4

Clasificación de electrodos según material						
Material		Aleación	Composición nominal %	Tª reblandecimiento (°C)	Conductividad eléct. % I.A.C.S.+	Áreas típicas de aplicación
Grupo	Tipo					
A	1	Cu de alta conductividad	99,9 Cu	150	98	Aleaciones Al – Uso limitado
	-	Ag/Cu	1Ag/Cu			Aleaciones Al – Uso limitado
	-	Zr/Cu	0,1Zr/Cu	~ 500	92	Aleaciones Al, aceros desnudos y galvanizados
	2/1	Cr/Cu	1Cr/Cu	500	78	Aceros desnudos y galvanizados
	2/2	Cr/Zr/Cu	1Cr/0,1Zr/Cu	525	75	Aceros desnudos y galvanizados
	-	Alúmina/Cu	~1,1Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> /Cu	925	83	Aceros galvanizados, aplicaciones especiales
	3/1	Co/Be/Cu	2,5Co/0,4 Be/Cu	500	45	Aceros inox, materiales resistentes al calor
	3/2	Ni/Si/Cu	2,0Ni/0,7Si/Cu	500	32	Aceros inox, materiales resistentes al calor

Figura 3.4 Clasificación de electrodo

Son de esta clase de material los siguientes electrodos o caps:



Cap B-20



Cap R-342



Cap C-20 semitaladrado

Dentro de esta clase 2 también se incluye un tipo de material sinterizado el  $\text{CuAl}_2\text{O}_3\text{ZrO}_2$  de precio elevado pero que presenta unos muy buenos resultados en soldadura de chapa galvanizada, comercialmente el que usamos nosotros se denomina G-16 nitrode.



Cap G-16 Nitrode

Los índices que acompañan al número indica la forma del propio cap tal y como se puede ver en la siguiente tabla:

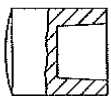
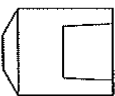
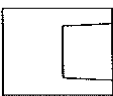
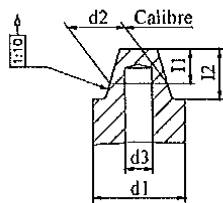
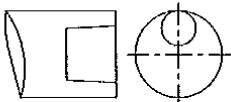
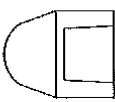
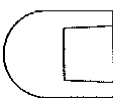

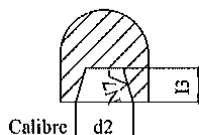
Cápsulas hembra							
	Forma A		Forma B		Forma C		
	Forma D		Forma E		Forma F		
	Forma G						
Acoplamiento	d <sub>1</sub>	d <sub>2</sub>	d <sub>3</sub>	I <sub>1</sub> ± 0,5	I <sub>2</sub>	I <sub>3</sub> ± 0,5	Fuerza del electrodo F <sub>max</sub> kN
C13	13	10	6,5	6,5	10	8	2,5
C16	16	12	8	8	13	9,5	4
C20	20	15	10,5	10	15	11,5	6,3

Figura 3.5 Formas y dimensiones de capas más comunes



#### 4. Parámetros óptimos de un punto de soldadura para un determinado espesor de las chapas a soldar

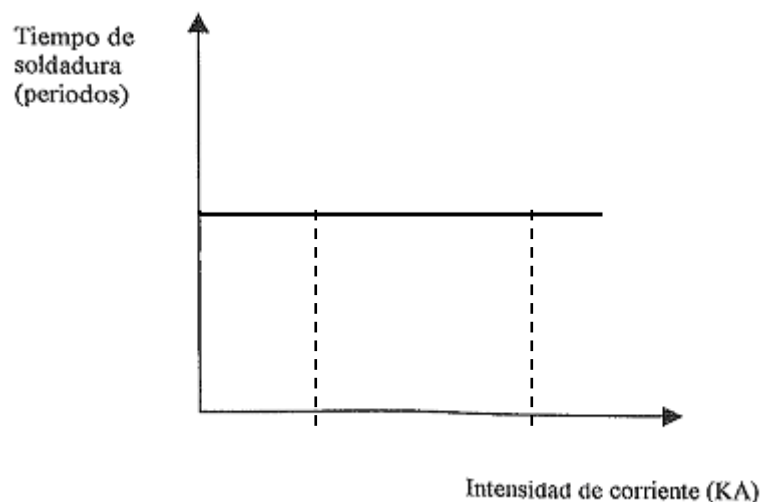
La elección de los parámetros óptimos de soldadura, es decir, intensidad de corriente, fuerza de las puntas de los electrodos y tiempo de soldadura para un determinado espesor de las chapas a unir se puede representar gráficamente mediante el llamado lóbulo de soldadura.

Para la determinación del lóbulo de soldadura no se tienen en cuenta factores como el desgaste de los electrodos, pues se trata de encontrar los parámetros iniciales de partida de una unión soldada (con espesores de chapa concretos) Mediante la representación gráfica de del lóbulo de soldadura se determina el rango de soldabilidad de las piezas a soldar.

La representación gráfica del lóbulo de soldadura se representa de la siguiente manera:

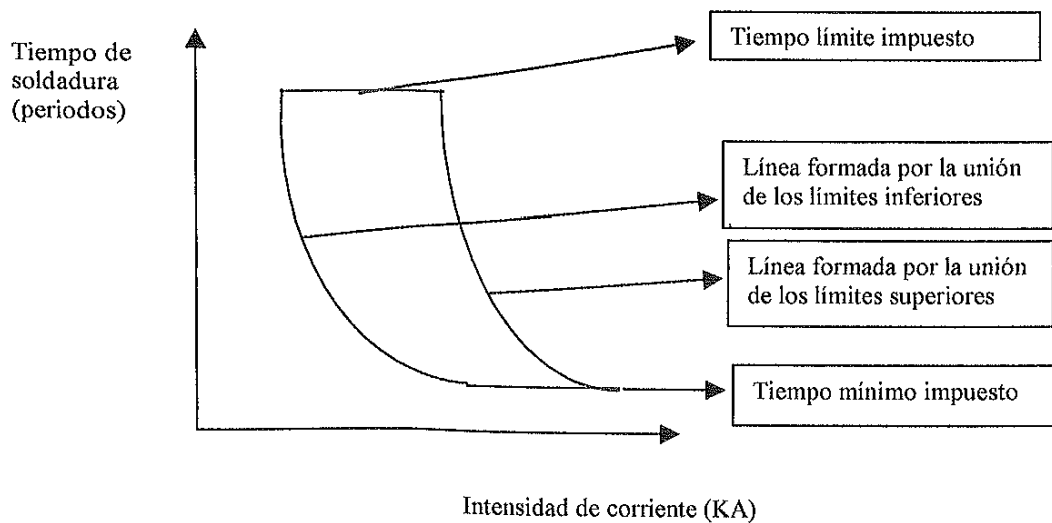
1. Se elige una determinada fuerza en puntas. Este valor no cambia puesto que cada lóbulo de soldadura pertenece a una determinada fuerza en puntas, es decir este parámetro se mantiene constante para cada lóbulo
2. Se cogen las chapas a examinar y eligiendo un determinado tiempo de soldadura se varia la intensidad de corriente entre un mínimo y un máximo al que llamamos límite inferior y límite superior, el límite superior lo establece la situación en la cual se empiezan a dar proyecciones, mientras que el inferior lo establece el punto de soldadura que no cumple un determinado diámetro, para la medición del diámetro de la lenteja, se realiza un desbotonado de la probeta soldada y se realiza la medición del diámetro mediante calibre. Se debe tomar el valor de dos diámetros a 90° considerando el valor medio de los dos.

Gráficamente se representa de la siguiente manera:



Como se puede ver en el esquema anterior, para cada tiempo, se representa un segmento dónde se establece el rango de soldabilidad determinado por las coordenadas ( $F$ ,  $I_{\min}$ ,  $T_1$ ) y ( $F$ ,  $I_{\max}$ ,  $T_2$ ). La línea representa pues el rango de intensidades para la obtención de soldaduras satisfactorias a una fuerza y tiempo de soldadura concretos.

Si seguimos representando las líneas pertenecientes a diferentes tiempos de soldadura en una misma gráfica y tenemos en cuenta el área total formada por estas líneas obtenemos el llamado lóbulo de soldadura.



En resumen, el área encerrada por el lóbulo de soldadura representa los parámetros óptimos de intensidad y tiempo de soldadura para el espesor de chapas elegido a una determinada fuerza en puntas. Cualquier punto perteneciente al interior del lóbulo teóricamente se considera como satisfactorio.



## **2.- Antecedentes. Situación actual del control de calidad de los puntos de soldadura por resistencia.**

---

En este nuevo apartado del proyecto, la intención del que escribe es dar a conocer el tipo de defectología que se da comúnmente en el proceso de soldadura por puntos de resistencia, como se controla y como se evalúa habitualmente en el departamento de calidad de KWD.

Como podrá comprobar el lector, se detalla el procedimiento de desbotonadura y el de tracción con cizalladura correctamente homologados por el cliente. Estos métodos seguirán siendo utilizados a ser posible en menor proporción y además validarán el procedimiento de inspección por ultrasonidos que queremos añadir al sistema de calidad vigente.

### **2.1 Defectología del punto de soldadura**

#### **2.1.1 Introducción**

La multitud de variables que influyen en la soldadura por resistencia puede provocar defectos en la calidad de la unión soldada. Las clases de defectos que se pueden encontrar pueden ser de dos tipos:

- Defectos que atañen a la superficie de las chapas tras la soldadura, son aquellos relativos a la huella de soldadura, este tipo de defectos se comprueban exclusivamente de manera visual. Los defectos provocados en la huella de soldadura y que atañen al aspecto visual de la soldadura en cuestión son provocados principalmente por la propia máquina.
- Defectos relacionados con la geometría de la lenteja de soldadura o núcleo fundido, para su inspección es necesario un estudio mediante ensayo metalográfico o como es el objeto de nuestro proyecto, a través de ensayos no destructivos como el análisis mediante ultrasonidos. La causa de este tipo de defectos puede venir originada por la combinación entre problemas derivados de las instalaciones de soldadura y por una mala optimización de los parámetros utilizados.

#### **2.1.2 Defectos relativos a la huella de soldadura**

La huella que queda debido a la presión de los electrodos durante el proceso de soldeo es originada por el efecto combinado de la resistencia que existe entre la chapa a soldar y el electrodo y por la fuerza que ejercen los cilindros de las pinzas sobre los propios electrodos, además el acostaje y la distribución de la presión sobre las piezas a soldar también van a definir la huella del punto soldado.

Los dos efectos generados en la huella de soldadura son:

- Profundidad de la huella de soldadura. El reblandecimiento del material en el momento de la soldadura provocado por la intensidad de corriente y el valor de la presión de las pinzas al que se somete la pieza influirá en la profundidad del punto.

- La contaminación de la superficie del punto de soldadura. El calor generado por el paso de corriente durante el proceso de soldeo hace que tanto el cinc como el cobre se mezcle produciendo una aleación de latón. Cuanto mayor sea el calor generado, mayor probabilidad de producir este efecto indeseable en la soldadura.

Por consiguiente, podemos generalizar diciendo que a mayor intensidad o corriente de soldadura mayor es calor que se genera en el punto y al mismo tiempo cuanto menor presión se ejerza entre los electrodos peor es el contacto entre las chapas a soldar y mayor resistencia se produce, esto de nuevo, hace que se produzca un exceso de calor en la zona repercutiendo negativamente en la formación de la huella.

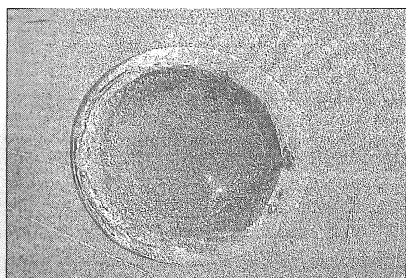
Una forma de pensar errónea en cuanto a decidir si un punto de soldadura es bueno no es que cuanto más color presente el punto en cuestión mayor es el agarre que presenta, como hemos apuntado, esto es totalmente erróneo, lo que está ocurriendo es que estamos sacrificando la vida del electrodo usando intensidades muy grandes que no aseguran que la penetración de la soldadura sea mayor. Lo que provocamos es que el cobre del electrodo se quede pegado a las chapas y que se desgaste prematuramente rápido.

#### 2.1.2.1 Tipos de huella

a) **Punto bueno:** La huella de soldadura tiene uniformidad de pisado del electrodo.

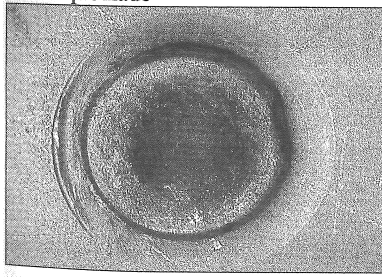
Se identifican dos zonas:

- 1.- La zona central en la que se ha evaporado el cinc
  - 2.- El anillo exterior que se ha calentado pero no ha llegado a evaporarse.
- Este tipo de huella se considera en la inspección visual como óptima

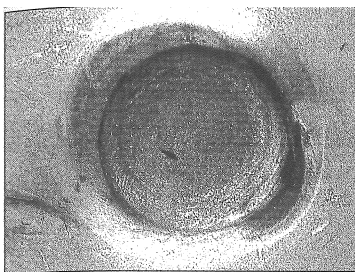


b) **Punto quemado:** La huella tiene la uniformidad de la anterior pero vemos que el cobre del electrodo se ha adherido a la superficie de la chapa. El origen del problema puede venir de:

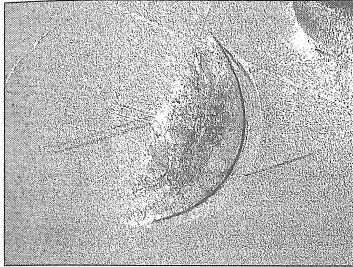
- 1.- Un exceso de intensidad de corriente de soldadura que genera un aumento de calor en el punto
- 2.- Falta de fuerza en las puntas. Aumenta la resistencia de la chapa y con ello el calor generado
- 3.- Sobrecalentamiento excesivo de los electrodos debido a una refrigeración defectuosa



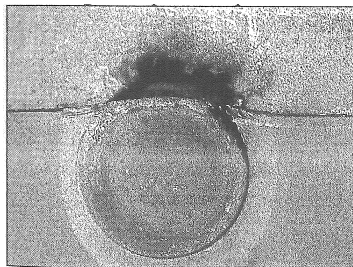
c) **Punto deformado por mala orientación de la pinza:** Podemos ver que los electrodos han pisado bien las chapas porque la zona central del punto está en el mismo plano, aunque en la zona superior de la izquierda esta hundida respecto a la superficie restante de la pieza, esto se debe a que la pieza no se encontraba en el mismo plano que las caras activas de los electrodos. La orientación de la pieza no es la adecuada para dar el punto de soldadura.



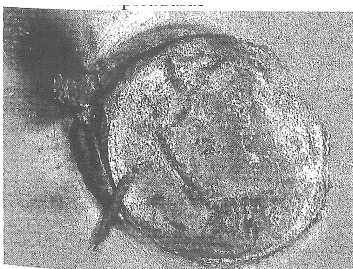
d) **Punto de media luna:** Se observa que el electrodo sólo ha pisado con una parte de su cara activa en la superficie de la chapa a soldar. Esto es debido a que la reactivación de la cara activa del electrodo es defectuosa.



e) **Punto fogueado por mala posición del mismo:** La posición en la que se da el punto de soldadura no es la correcta debido a la proximidad del punto al borde de alguna de las chapas a soldar. Ocurre que la superficie de la cara activa del electrodo no hace contacto en su totalidad con las chapas, la fuerza en las puntas y la dilatación de la lenteja hace que parte del material fundido se expulse hacia el exterior en forma de proyecciones. Esto suele ocurrir por una mala programación de la posición donde se da el punto, o desajustes en el utillaje de soldadura.

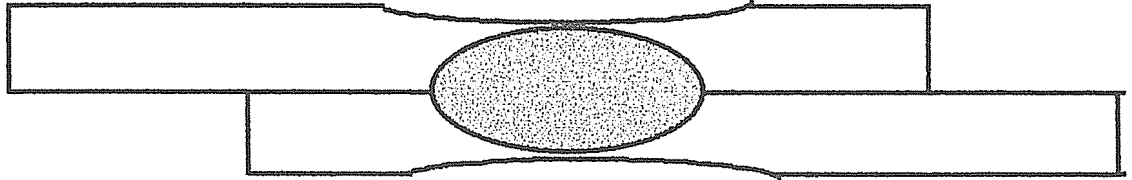


a) **Punto con salpicaduras:** En la foto de a abajo se puede ver que la parte izquierda del punto está totalmente fogueada y cubierta de material de cobre del electrodo. Esto es debido a una mala orientación del electrodo con respecto a la chapa (acostaje)

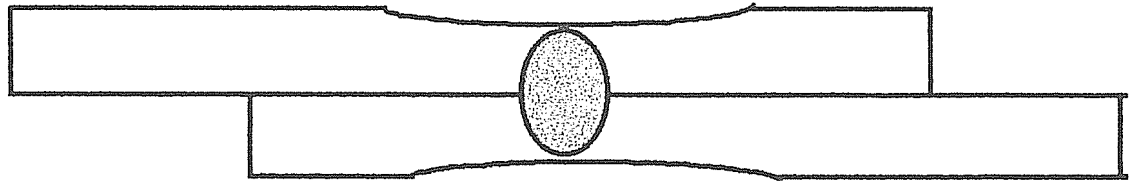


### 2.1.3 Defectos relativos al núcleo o lenteja de soldadura

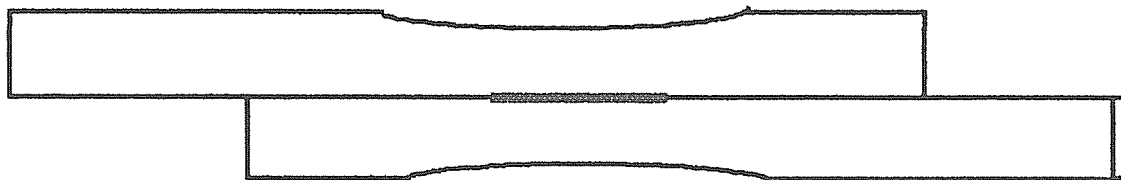
- a) **Punto bueno:** Las dimensiones del núcleo fundido son las requeridas



- b) **Punto con diámetro de lenteja pequeño:** La masa de metal que se ha fusionado es pequeña y por tanto el punto no reúne las propiedades mecánicas suficientes

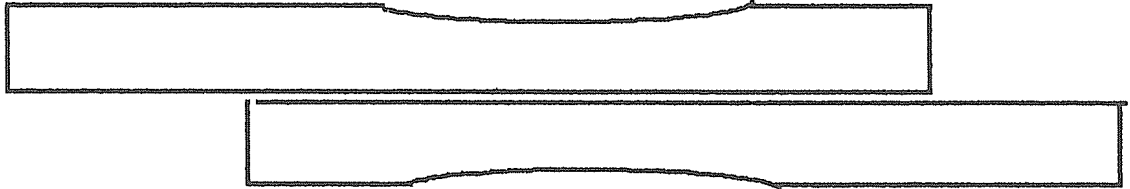


- c) **Punto pegado:** En esta situación no ha habido fusión del material y las dos chapas a soldar únicamente están unidas por la fusión de sus recubrimientos

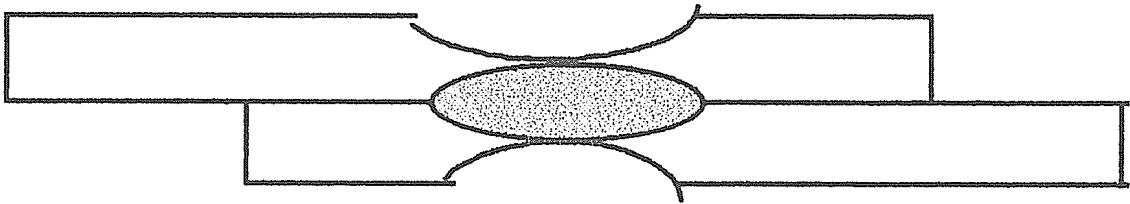




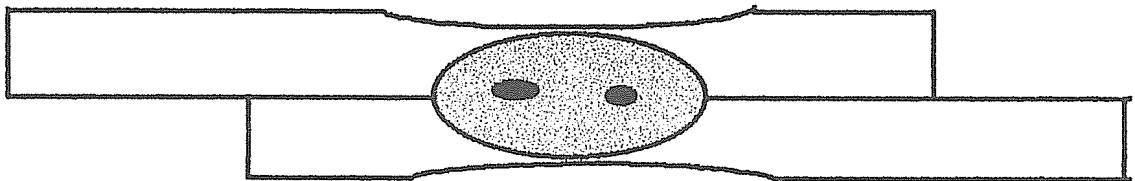
- d) **Punto sin soldadura:** No ha habido fusión del material debido a que no pasado corriente a través de los electrodos.



- e) **Punto aplastado:** La resistencia de contacto entre la chapa y el electrodo ( $R_c$ ) es demasiado alta y se produce un exceso de huella, con la consiguiente reducción de la zona de fusión. El espesor de la lenteja se reduce considerablemente



- f) **Punto con poros:** La reducción de volumen del material fundido al enfriarse, no esta acompañada por el efecto contrarestado de los electrodos (falta de forja) por lo que se producen poros o cavidades en el interior del núcleo.



- g) **Punto quemado:** La excesiva generación de calor tanto en la zona de contacto de los electrodos con las chapas así como entre las propias chapas produce una deformación de las piezas y una excesiva contaminación de las superficies de las chapas dando un aspecto visual al punto, de deformación excesiva y de suciedad (quemado).





## 2.2 Procedimientos actuales de ensayos destructivos usados en KWD

El departamento de calidad de KWD comprende dos áreas:

- Sala de metrología: Es el área donde se controlan dimensionalmente el estado de los conjuntos que se ensamblan, mediante una máquina tridimensional, dicha máquina mide unos puntos determinados de superficie dictaminados por el cliente a través de los informes PMP
- Laboratorio de ensayos: En el laboratorio de ensayos se llevan a cabo el control de calidad de los puntos de soldadura a través de los planes de control, en estos planes aparecen identificados todos los puntos de los que consta cada conjunto, el robot que lo da dentro de la célula de soldadura y las dimensiones de la lenteja que debe de tener cada punto considerado como bueno. El espesor y el diámetro de la lenteja lo determina el tipo de punto que obedece en todo momento a la normativa interna de VW (véase apartado normas anexos). Es en este emplazamiento donde se encuentra toda la infraestructura y los equipos necesarios para la realización de los ensayos.

El proceso más común de inspección de puntos de soldadura consiste en destruir estas uniones soldadas utilizando diversos métodos o procedimientos. Los más comunes son el ensayo de tracción con cizalladura y el ensayo de desbotonadura. Estos métodos como bien es sabido, resultan ser los procedimientos más habituales para el control de calidad de este tipo de uniones soldadas. Se tratan de los métodos más efectivos y fiables que existen porque es posible comprobar visualmente el grado de fusión del material que se ha soldado durante el proceso.

Como complemento a estos dos, se realizan ensayos metalográficos cuyo procedimiento también se explica a continuación.

### 2.2.1 Procedimiento de ensayo de tracción con cizalladura:

El ensayo de tracción tiene como objetivo determinar la resistencia mecánica de las uniones soldadas sometiéndolas a un esfuerzo combinado de tracción pura y fuerza de cizalladura conforme a unos requerimientos establecidos por cliente y que se reflejan en el procedimiento interno PV6702 del grupo VW y en la norma interna VW 01105.

Para tal labor disponemos de la máquina de tracción SERVOSIS modelo ME402/5 (Fig2.1).



Fig. 2.1 Máquina de ensayos de tracción

El ensayo consiste en crear una probeta con unas dimensiones determinadas de tal manera que el punto a ensayar quede en el centro de la misma. Esta probeta se coloca en las mordazas de la máquina para posteriormente ir sometiéndola a una carga axial de rotura a una velocidad de 10mm/min ó 0.16mm/seg. (Fig 2).

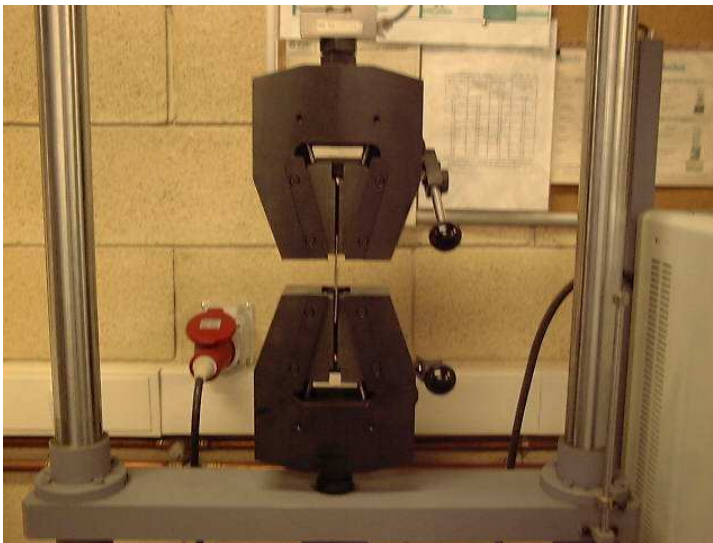
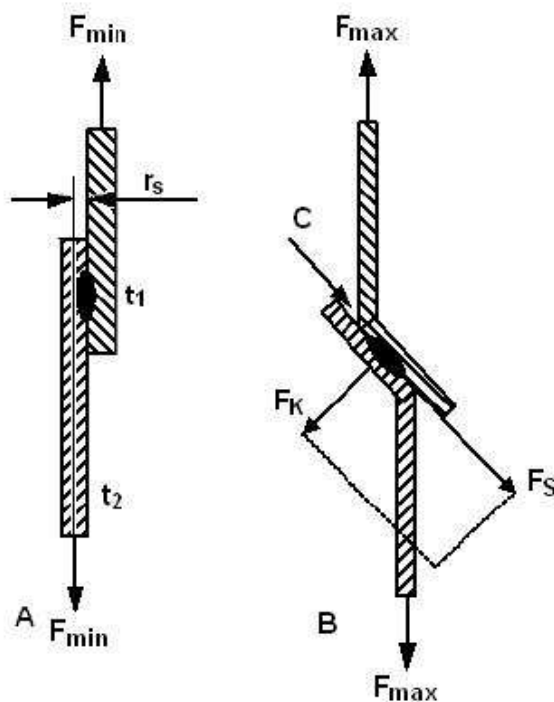


Figura 2.2 Detalle mordazas



La fuerza mínima de cizallamiento por tracción **Fs mín** genera un momento de flexión

$M_b = F_s r_s$ ; este crece a medida que aumenta el esfuerzo (hasta **F máx**) y produce además una parte de tracción directa **Fk** justificando la situación final de la probeta tal y como se aprecia en el esquema de arriba.

la **Fs** mínima se determina mediante la siguiente fórmula:

$$F_s \text{ mínima} = F_{\text{máx}} - 2s \text{ [kN]}$$

Siendo  $s$  la desviación estándar y  $F_{\text{máx}}$  la media de la fuerza máxima que debe resistir la chapa atendiendo a la norma UNE EN ISO 14273 y a VW 01105

Se debe de tener en cuenta que la chapa de la probeta puede llegar a romperse antes que el punto de soldadura, por lo que es necesario coger un ancho de probeta lo suficientemente grande para evitar este problema y conseguir que sea el punto lo que se rompa antes.

La manera más adecuada de evitar esto es hacer que la anchura de la probeta coincida con la anchura de la mordaza pues además, evitamos de esta forma otro problema indeseable, someter al material a torsión en combinación con los esfuerzos de tracción y cizallamiento que si son importantes para el correcto desarrollo de la prueba.

Los criterios de valoración son los siguientes:

**NOTA 1:** Soldadura OK, significa que se ha alcanzado la fuerza mínima de cizallamiento por tracción **Fs mín**, además el punto de soldadura se desprende del componente y se alcanza el diámetro mínimo de lenteja **dp ≥ dp mín**

**NOTA 3:** Soldadura no OK hasta cierto punto (soldadura conforme condicionada), se ha alcanzado la fuerza mínima de cizallamiento por tracción **Fs mín**. El punto de soldadura presenta roturas de cizallamiento y se alcanza el diámetro mínimo **dp ≥ dp mín**.

La superficie de rotura esta libre de fisuras visibles a simple vista. Los poros son visibles porque están a nivel superficial

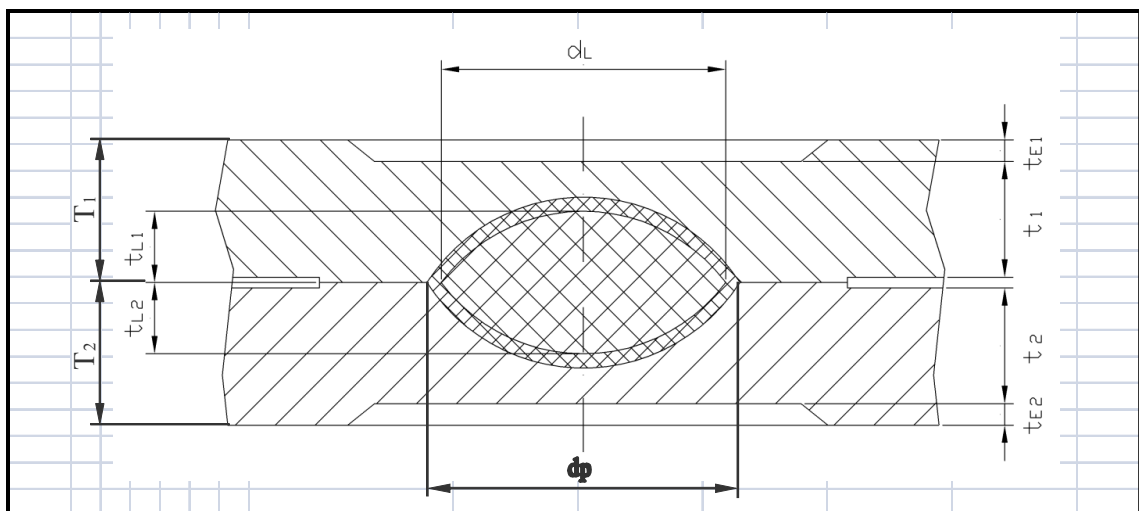
**NOTA 6:** Soldadura no ok

- No se ha alcanzado la fuerza mínima de cizallamiento por tracción **Fmín**
- No se alcanza el diámetro mínimo del punto **dp ≤ dp mín**

El diámetro mínimo que ha de tener el punto de soldadura tanto para chapas cincadas como para chapas sin revestimiento ha de ser:

$$dp_{\min} \geq 1,15 \times 3.5 \sqrt{t} \text{ siendo } t \text{ el espesor de la chapa más delgada a soldar}$$

A continuación se muestra un gráfico aclaratorio con todas las dimensiones en un punto de soldadura que son susceptibles de ser medidas:





### Calculo de los valores nominales

$T$	Espesor de la chapa
$t$	Espesor mínimo de la chapa
$t_{L=}$	40 a 60 % del grosor individual de chapa correspondiente ( $T$ )
$t_{E=}$	10 a 20 % del grosor individual de chapa correspondiente ( $t$ )
$d_{L\geq}$	$3,5 \sqrt{T_{\min}}$ de las 2 chapas
$d_{p=}$	$1,15 * d_L$ tanto si es chapa zincada como si es sin recubrimiento.

### Definición de las cotas

$T_1$	Espesor total de la chapa 1 (dato)
$T_2$	Espesor total de la chapa 2 (dato)
$t_1$	Espesor mínimo de la chapa 1 (se mide)
$t_2$	Espesor mínimo de la chapa 2 (se mide)
$t_{L1}$	Profundidad de penetración del punto de soldadura en la chapa 1 (se mide)
$t_{L2}$	Profundidad de penetración del punto de soldadura en la chapa 2 (se mide)
$t_{E1}$	Profundidad de huella en la chapa 1 (se mide)
$t_{E2}$	Profundidad de huella en la chapa 2 (se mide)
$d_p$	Diámetro del punto (se mide)
$d_L$	Diámetro del punto en forma de lenteja (se mide mediante metalográfico)

Nota aclaratoria:

$d_L$  es el valor teórico que debe tener la lenteja de soldadura y se considera como el diámetro entre la zona de separación que forma la porción de material que se funde, esta resalta del material de base por su estructura cristalina distinta.

La medida mínima admisible para  $d_L$  figura en la norma VW 01155 y sólo es válida su medición realizando un ensayo metalográfico.

$d_p$  es el valor que sirve para la regulación del valor teórico de  $d_L$  y resulta ser el valor medio obtenido por medición directa del botón o lenteja después de un ensayo de tracción con cizallamiento ó después de su desbotonadura. Los valores de referencia también están incluidos en VW01155

### 2.2.2 Procedimiento de ensayo de desbotonadura

El ensayo de desbotonadura sirve para medir el diámetro de la lenteja de soldadura, al igual que el ensayo de tracción, se trata de un método destructivo con lo cual tras la prueba la pieza queda completamente inservible.

El proceso de actuación es el siguiente:

- Con ayuda de un cincel se separa la chapas soldadas hasta que podamos introducir posteriormente un martillo neumático o similar que termine de despegar el punto a estudiar (Fig. 2.3)



Figura 2.3

- Al introducir el martillo neumático se ha de procurar no atacar directamente el punto, pues es probable que después tengamos dificultades para medir la lenteja de soldadura. (Fig. 2.4)



Figura 2.4

- A continuación se procede a medir el diámetro de la lenteja. Primero se mide en una posición y después se mide a 90 grados, la media de las dos mediciones nos indica el valor que debemos de comparar en unas tablas con los criterios de aceptación establecidos por el cliente (Fig. 2.5)

$$d_p = \frac{d_1 + d_2}{2}$$



Figura 2.5

Criterios de valoración:

**SOLDADURA OK:** El valor diámetro de desbotonadura es igual o mayor que el establecido.

$$dp \geq dp_{min}$$

**SOLDADURA NO OK:** El valor del diámetro de desbotonadura no es lo suficientemente grande, o también se puede dar el caso de que no presente un lenteja debido a que la soldadura no ha sido correcta y tengamos un punto pegado. (Fig.2.6)

$$dp \leq dp_{min}$$

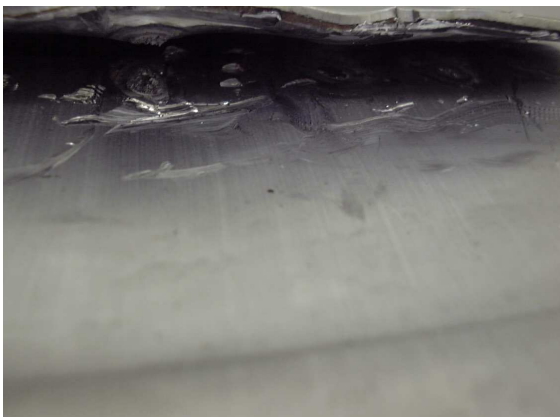


Figura 2.6



### 2.2.3 Procedimiento de ensayos metalográficos

Los ensayos metalográficos pueden ser de dos tipos, macrográficos y micrográficos en función de que estudiemos la estructura general con observación a ojo desnudo o pocos aumentos (hasta X15), o que investiguemos la microestructura de las diferentes zonas creadas en el momento de la soldadura con ampliaciones que pueden ir desde la gama de 50X a 1000X aumentos de microscopía óptica.

Los ensayos metalográficos que se realizan en el departamento de calidad tienen como objeto poder visualizar la estructura interna del material fusionado, es decir, la estructura de grano que se forma tras la soldadura, además de poder determinar más concretamente el grado de fusión que ha alcanzado el material durante el proceso.

A continuación se muestran las etapas de las que consta un ensayo metalográfico

#### a) Selección e identificación del punto a ensayar



Figura 2.7

Seleccionamos el punto de soldadura a ensayo teniendo en cuenta el mapa de distribución de puntos del conjunto ensamblado para identificarlo correctamente.



- b) Mediante una sierra de cinta, o en nuestro caso un cortador de plasma, cortamos una probeta que contenga al punto con unas dimensiones de 2x3 cm aprox.



Figura 2.8

- c) Se secciona la probeta por la mitad tal y como se aprecia en la fotografía inferior

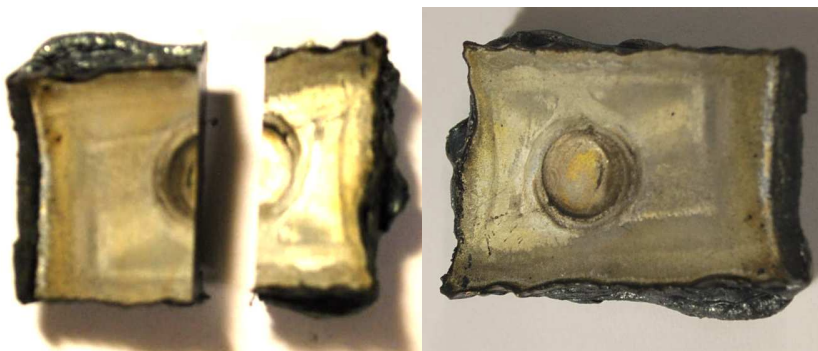


Figura 2.9

- d) Después, se selecciona una de las dos secciones resultantes y se pasa por una pulidora con lijas cuyo tamaño de grano son P 360 y P 120 respectivamente



Figura 2.10

- e) Posteriormente, se ataca la probeta con Nital cuya proporción oscila entre el 9 y el 13% de ácido nítrico ( $\text{HNO}_3$ ) y el resto alcohol etílico, se sumerge la probeta en esta disolución durante unos 45 segundos. Tras ello se lavan en Klenool o etanol y se secan con aire comprimido



Figura. 2.11



Figura 2.12

Este ataque químico hace aparecer las zonas constitutivas de la soldadura, que se manifiestan por intensidades de ataque o coloraciones diferentes unas de otras. Estas diferencias representan las variaciones de constitución y de estructura generadas por la soldadura.

- f) La probeta ya está lista para ser observada al microscopio, con ayuda de un software podemos realizar diversas mediciones, en la fotografía inferior se muestra la medida del diámetro de la lenteja.



Figura. 2.13

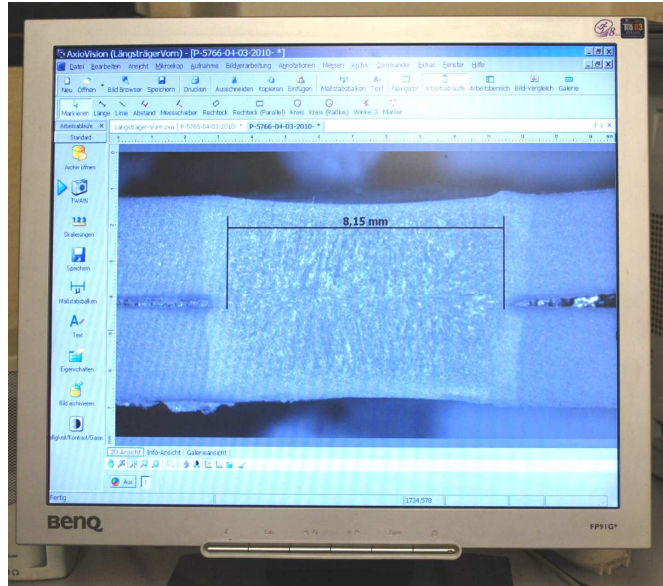


Figura. 2.14

Además de las condiciones de realización de las soldaduras, con los ensayos metalográficos podemos detectar anomalías geométricas y físicas de la soldadura.

- Defectos geométricos: deformaciones irregulares de chapa (puntos quemados), tamaños incorrectos de punto, faltas de fusión (punto frío)
- Defectos físicos: sopladuras, incursiones no metálicas (óxidos, escoria), fisuras internas.

Este tipo de ensayo es particularmente importante en la soldadura por resistencia de chapa galvanizada, ya que permite distinguir la correcta eliminación o difusión del Zinc antes de la soldadura.



## 2.3 Implantación de métodos de ensayos no destructivos. Generalidades

Los ensayos que comúnmente se llevan a cabo en el mundo de la automoción como pueden ser los descritos anteriormente tienen la particularidad de que en todos los casos la pieza a ensayo queda totalmente inoperativa, son todos ellos ensayos destructivos. El objetivo principal de las pruebas destructivas es determinar cuantitativamente el valor de ciertas propiedades del material como puede ser la resistencia mecánica (ensayo de tracción) o el tamaño y la estructura de grano (ensayo metalográfico) por consiguiente, este tipo de ensayos se realizan por aplicación directa de métodos físicos o químicos directos que alteran de forma permanente las propiedades físicas, mecánicas o dimensionales del producto sujeto a inspección.

El desarrollo de nuevas tecnologías y la optimización de los productos o los requisitos de seguridad como es el caso de la industria aeroespacial o automotriz impusieron nuevas condiciones de inspección, con necesidades de verificación de hasta un 100% de componentes críticos, con lo que este tipo de métodos destructivos resultaban inadecuados.

Es entonces cuando empezaron a desarrollarse las pruebas no destructivas, consistentes en medir alguna otra propiedad física de los materiales que este relacionada con la característica crítica del producto que se quiere inspeccionar.

Tenemos que aclarar, que cuando se realizan este tipo de pruebas, no se busca determinar las propiedades físicas inherentes de las piezas, sino verificar su homogeneidad y continuidad. Por lo tanto, no sustituyen totalmente los ensayos destructivos, sino que más bien se complementa.

De acuerdo a su aplicación, los END (Ensayos no destructivos) se dividen en:

### Técnicas superficiales

Son aquellas que únicamente nos permiten examinar la superficie del objeto sometido a ensayo, y por consiguiente, sólo son aptos para detectar discontinuidades que afloren a la misma. Entran en este tipo, la inspección mediante líquidos penetrantes y la inspección visual.

*Inspección visual:* Consiste en observar la superficie de la pieza a ojo desnudo ó con un magnificador o lupa para determinar la existencia o no de defectos superficiales. También se observa el procedimiento de trabajo a fin de evitar que ocurran los defectos.

*Inspección mediante líquidos penetrantes:* El procedimiento consiste en aplicar un líquido coloreado o fluorescente a la superficie en estudio, el cual penetra en cualquier discontinuidad que pudiera existir debido al fenómeno de capilaridad. Después de un determinado tiempo se remueve el exceso de líquido y se aplica un revelador, el cual absorbe el líquido que ha penetrado en las discontinuidades y sobre la capa del revelador se delinea el contorno de éstas. No es posible en ningún caso evaluar la profundidad (altura de las discontinuidades).





### Técnicas de inspección volumétrica

Son aquellas que nos permiten examinar hasta el 100% del volumen total del objeto sometido a ensayo. Los métodos que corresponden a este tipo de ensayos son principalmente, la radiografía industrial, los ultrasonidos y las corrientes inducidas.

*Inspección radiográfica:* Es un método que utiliza la radiación ionizante de alta energía que al pasar a través de un material sólido, parte de su energía es atenuada debido a diferencias de espesores, densidad o presencia de discontinuidades. Las variaciones de atenuación o absorción son detectadas y registradas en una película radiográfica o pantalla fluorescente obteniéndose una imagen de la estructura interna de una pieza o componente.

*Corrientes inducidas:* El principio del método de inspección por corrientes inducidas, consiste en detectar las variaciones de impedancia de una bobina situada en las inmediaciones de la pieza sometida a ensayo. Este método como es natural, sólo puede aplicarse a materiales ferromagnéticos y la distribución de las corrientes inducidas en una pieza será uniforme, viéndose alterada cuando existan variaciones en su volumen o en su estructura debidas a la presencia de discontinuidades. Las señales (Indicaciones) debidas a estas variaciones, se visualizan en un gráfico o se monitorizan y se registran para su análisis posterior.

*Inspección por ultrasonido:* Se basa en medir la propagación de las ondas sonoras de frecuencia ultrasónica (por encima de 20 KHz) en los materiales ensayados; la distancia recorrida por el haz será en función de los obstáculos que encuentre a su paso y que actuarán como reflectores.

En función de las señales obtenidas es posible evaluar el tamaño y la forma de las discontinuidades internas que pueda presentar el material sometido a ensayo

### Técnicas semivolumétricas o subsuperficiales

Nos permiten examinar una parte del objeto sometido a ensayo (normalmente la que se encuentra más próxima a la superficie).

Los métodos que corresponden a este tipo de ensayos son principalmente las partículas magnéticas y las corrientes inducidas de las que ya hemos hablado.

*Ensayo de partículas magnéticas:* El método consiste en registrar las variaciones producidas en un campo magnético, creado de forma temporal. El campo creado tiene unas líneas de distribución que podemos poner en manifiesto espolvoreando limaduras de hierro en la superficie de la pieza ensayada. Si hubiese una discontinuidad de material, se perturbaría el campo magnético, poniéndose en manifiesto en la orientación las limaduras que justamente darían la imagen correspondiente a la discontinuidad.



En la tabla que se presenta a continuación se indican las aplicaciones y las no aplicaciones de estos métodos:

Método	Objetivo	Aplicable a	No aplicable en
<i>Radiografía Industrial (RI)</i>	Defectos internos	Soldaduras, fundiciones	Fundiciones con espesores mayores a 400 mm.
<i>Ultrasonido (US)</i>	Defectos internos	Placas, tuberías, soldaduras, forjados	Materiales con gran atenuación
<i>Partículas magnéticas (PM)</i>	Defectos superficiales y subsuperficiales	Materiales ferromagnéticos	Materiales no magnéticos y defectos internos
<i>Líquidos penetrantes (LP)</i>	Defectos superficiales	Materiales metálicos y no metálicos	Defectos internos y materiales porosos
<i>Corrientes Inducidas (CI)</i>	Defectos superficiales y subsuperficiales	Materiales conductores de geometrías simples	Materiales con geometrías complicadas y defectos internos

El método que más se ajusta a nuestro proceso productivo y que se ha citado ya en numerosas ocasiones es el método de inspección por ultrasonidos, en este caso aplicado a la soldadura por resistencia. Entraremos ya a fondo en el siguiente capítulo del proyecto, no sin antes hacer referencia a algunos aspectos que avalan el uso de estos métodos y que animan a su implementación tanto en la empresa donde estoy trabajando, como en resto de las industrias.

### 2.3.1 Propósito y justificación del uso de ensayos no destructivos en la empresa KWD

- Mejoramiento y optimización del proceso de producción: Mediante el uso de END es posible controlar el proceso de soldadura actuando directamente sobre los parámetros del control y sin necesidad de esperar a comprobar las características de la unión soldada a través de la rotura sistemática que de por sí es bastante lenta y tediosa, pero también necesaria
- Reducción de los costes de producción: El pensamiento general que se tiene es que los END aumentan el coste final del producto, que si pueden verse ligeramente incrementados, pero los que si se reducen son los de producción ya que es posible detectar fallos de calidad del producto en etapas intermedias del proceso de fabricación. En nuestro caso, el ahorro en costes asociados a pruebas de rotura debería ser considerable, ya no sólo en el coste asociado al desecho de piezas sino también al ahorro del tiempo empleado.



- Aumento en la confiabilidad: La definición de confiabilidad depende de los tipos y propósitos de uso de los productos. La confiabilidad en los productos industriales usuales puede considerarse como la relación entre el periodo real en el que el producto ha estado operando, y el periodo esperado durante el cual operará bajo situaciones satisfactorias y sin ningún problema, como fabricante de primeros equipos para automóviles y dada la importancia estructural que presentan nuestras piezas durante toda la vida del vehículo (características de seguridad D), es posible controlar la calidad pudiendo corregir eficazmente desviaciones motivadas por modificación de parámetros, intervenciones de mantenimiento, averías etc. asegurando aún más si cabe las especificaciones y requerimientos de nuestro cliente.

### ¿Qué método debemos de utilizar?

No podemos decir que haya métodos mejores que otros para inspeccionar un tipo determinado de soldaduras, aunque si es cierto que unos son más adecuados que otros en determinadas circunstancias.

Para seleccionar un método que se adapte mejor a nuestras necesidades particulares, se debería estudiar en cada caso, teniendo en cuenta entre otros, aspectos como:

- Materiales soldados: Conocido es que el material de las carrocerías que se ensamblan en nuestro caso, el acero galvanizado, cuyo principal problema es precisamente el recubrimiento de Zinc que tienen para evitar la corrosión.
- Geometrías de la unión: Algunos conjuntos soldados en KWD presentan bastante complejidad en su forma (Largueros anteriores)
- Solicitaciones de las uniones soldadas: Cabe esperar que la estructura de un vehículo tiene que ser suficientemente sólida como para poder soportar su peso y la de todos los ocupantes del vehículo, pero al mismo tiempo debe ser capaz de absorber gran cantidad de energía en cualquier impacto o accidente que pueda sufrir.
- Condiciones de servicio: Íntimamente ligadas al punto anterior y cuyo periodo de cumplimiento, sabemos que es el de toda la vida útil del vehículo.

### 3.-Uso de la técnica de ultrasonidos. Principios físicos. Equipos generadores de ultrasonidos

#### 3.1 Historia del uso de los ultrasonidos en la industria

La posibilidad de usar las ondas de ultrasonido para ensayos no destructivos, se remonta a 1930 en Alemania por Mulhauser, Trost y Pohlman, y en Rusia por Sergei Sokoloff, se basaban en la medición de la pérdida de la intensidad de energía acústica al viajar dentro de un material. Este rudimentario procedimiento presentaba muchas limitaciones, una de ellas era la necesidad de tener que acceder a ambas partes de la superficie a inspeccionar para colocar un emisor y un receptor de ondas ultrasónicas.

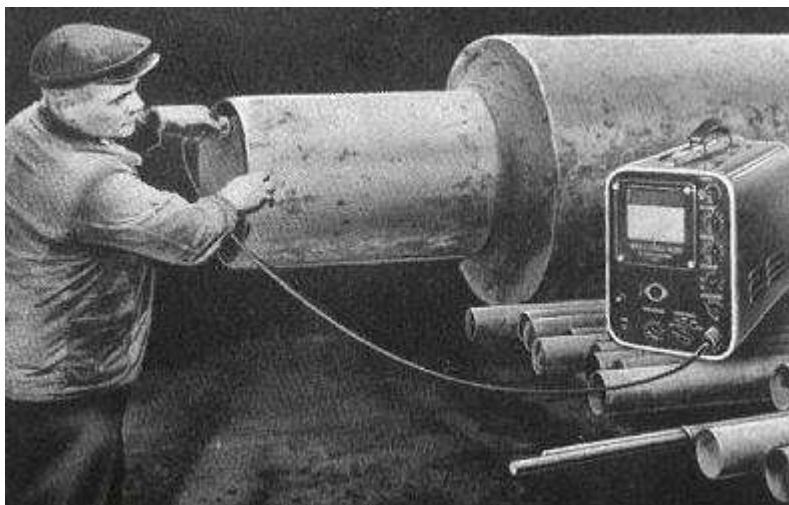


Figura 3.1

No se encontró un método práctico de inspección hasta la década de los 40 cuando el Dr. Floyd Firestone (EE.UU) inventó un aparato empleando **haces de ondas ultrasónicas pulsadas** para obtener reflexiones de defectos pequeños, conocido como "Reflectoscopio Supersónico".



Figura 3.2



Este aparato empleaba un único transductor como emisor y receptor a la vez, basando su técnica de inspección en la propiedad característica del sonido para reflejarse al alcanzar una interfase acústica. Es así como nace el método de impulso-eco.

El nuevo sistema logro competir e incluso superar a las técnicas radiografías porque se podían inspeccionar piezas de gran espesor o de configuraciones en las cuales sólo era posible acceder por un lado de la pieza

Al mismo tiempo, en la universidad de Michigan, Firestone y su grupo de trabajo investigaron los mecanismos de operación de los transductores, el uso de ondas transversales, la aplicación de las ondas superficiales o de Rayleigh, el dispositivo Raybender para la inspección por haz angular con variación del ángulo, el empleo de la columna de retardo para la inspección en zonas cercanas a la superficie de entrada, un método de resonancia por pulsos para la medición de espesores, y varias técnicas empleando ondas de placa o de Lamb.



Figura 3.3

En perfeccionamiento de los equipos de inspección por ultrasonido se deben principalmente a los investigadores alemanes Josef y Herbert Krautkramer quienes desde 1948 se han dedicado a desarrollar y mejorar el equipo de inspección ultrasónica.

El desarrollo reciente del método de inspección por ultrasonido esta relacionado, en primera instancia, con lo siguiente:

1. Alta velocidad en la aplicación de sistemas automatizados de inspección
2. Instrumentos mejorados para obtener gran resolución en la detección de fallas
3. Una mejor presentación de los datos.
4. Interpretación simple de los resultados.
5. Estudio avanzado de los cambios finos de las condiciones metalúrgicas.
6. Análisis detallado de los fenómenos acústicos involucrados.

Todas estas premisas están relegadas en los nuevos aparatos de medición que se usan hoy en día.



### 3.1 Caracterización de las ondas ultrasónicas. Reflexión y Refracción

#### 3.1.1 Introducción

El ensayo por ultrasonidos, tal y como se utiliza en el control de calidad industrial, se basa en la aplicación de ondas elásticas en forma de impulsos que se propagan a través del material que se ensaya.

La denominación de ultrasonidos indica que son ondas del mismo tipo que los sonidos audibles pero cuya frecuencia está más allá de las posibilidades de audición del oído humano. Las frecuencias audibles están aproximadamente entre los 20 Hz y los 20 KHz y en el ensayo que nos ocupa, se utilizan frecuencias que oscilan entre los 15 y los 20 MHz.

Las ondas ultrasónicas son ondas mecánicas que consisten en vibraciones oscilatorias de partículas atómicas o moleculares de una sustancia, son ondas elásticas, es decir, ondas que necesitan un medio material para propagarse como puede ser las generadas por la vibración de la cuerda de una guitarra, y que se propagan a través del aire, un medio material. En el vacío la cuerda también vibraría pero no la podríamos oír.

Por el contrario la luz y las ondas de radio no son de naturaleza elástica, puesto que ambas pueden propagarse en el vacío. Son ondas de naturaleza electromagnética, ondas que no necesitan un medio material para propagarse.

#### 3.1.2 Características generales de las ondas

Las ondas ultrasónicas, como bien hemos dicho, se propagan en cierta medida en cualquier material elástico. Cuando las partículas atómicas o moleculares de un material elástico son desplazadas de sus posiciones de equilibrio por cualquier fuerza aplicada, una serie de esfuerzos internos actúan para restaurar o reacomodarlas a sus posiciones originales.

Debido a las fuerzas interatómicas que existen entre las partículas adyacentes del material, un desplazamiento en un punto induce un desplazamiento de puntos vecinos y así sucesivamente, originando así una propagación de ondas de esfuerzo-deformación. Debemos concretar que el desplazamiento real material que se produce en las ondas ultrasónicas es extremadamente pequeño.

Como todo fenómeno ondulatorio, las ondas ultrasónicas se caracterizan por

- Velocidad de propagación: Es la distancia recorrida por la onda dividido por el tiempo empleado para recorrer esta. La velocidad de los ultrasonidos en un material determinado depende de la densidad y elasticidad del medio que a su vez varían con la temperatura. La relación es directa, es decir, a mayor densidad del medio, mayor será la velocidad de transmisión de los ultrasonidos.
- Frecuencia: Es el número de oscilaciones (vibración ó ciclo) de una partícula por unidad de tiempo (segundo). La frecuencia se mide en Herzios. Un Herzio es una oscilación (ciclo) por segundo. Como los ultrasonidos son ondas de alta frecuencia, se utiliza como medida básica el MegaHerzio (MHz) que es igual a un millón de Herzios.

- Longitud de onda: Es la distancia que existe entre dos puntos que se encuentran en un mismo estado de vibración.

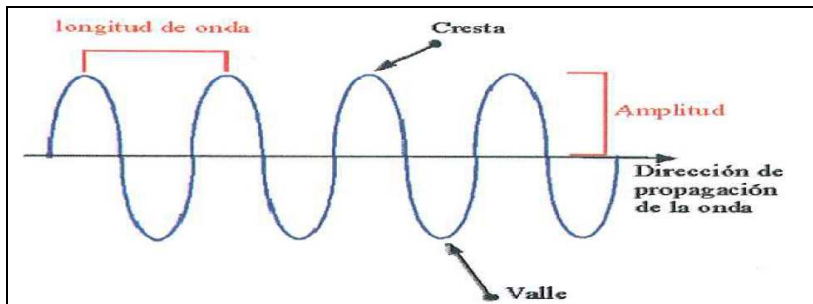


Figura 3.4 Imagen representación de longitud de onda

- Amplitud: Es la distancia máxima que alcanza la partícula vibratoria desde su posición inicial de reposo (altura de la curva senoidal)
- Periodo: Es el tiempo de una oscilación completa, es decir, lo que tarda el sonido en recorrer una longitud de onda.
- Intensidad: Es la energía que pasa por segundo a través de una superficie de área unidad colocada perpendicularmente a la dirección de propagación del movimiento, la intensidad disminuye con la distancia

### 3.1.3 Ondas continuas. Impulsos

Podemos considerar que un péndulo que oscila durante un intervalo muy largo de tiempo es un ejemplo de onda continua. Sin embargo, la sacudida que podemos dar a una cuerda de guitarra que en principio se encuentra en reposo, es un ejemplo claro de impulso. Cuando se empezaron a utilizar los ultrasonidos a principios del siglo XX, se aplicaba excitación continua, pero pronto se puso a punto la excitación por impulsos que tiene la ventaja fundamental de que permite medir tiempos de recorrido lo que, en el ensayo por ultrasonidos, es del mayor interés.

Si introducimos en un material una continua, lo más que se puede hacer es ver si llega o no a la cara opuesta, con lo que detectaremos la posible presencia de un obstáculo que impida el paso de la onda, pero no podremos conocer nada acerca del tiempo, es decir, de la distancia a la que se encuentra dicho obstáculo. Si por el contrario, utilizamos la excitación por impulsos, entonces sí que será posible determinar el tiempo que tarda un impulso en ir y volver, lo cual nos permite medir distancia.

Para entenderlo de manera mas sencilla, podemos ponernos en la situación de estar en un lugar entre montañas, si emitimos un grito muy corto y en ese momento ponemos en marcha un cronómetro, parándolo cuando oigamos el débil eco devuelto por la montaña, tendremos el tiempo que ha tardado el sonido en ir y volver hasta ella. Es fácil por tanto, determinar la distancia sabiendo que la velocidad del sonido en el aire es de 430 m/s. Si emitimos un grito largo, probablemente ocurrirá que cuando vuelva el eco todavía estemos gritando, con lo que nuestro propio grito enmascarará el eco, que es mucho más débil, impidiendo de esta forma que lo podamos oír. Nuestro oído que es el receptor, necesita estar en silencio para poder recibir los ecos devueltos a consecuencia de las reflexiones del sonido.

Así pues, en el ensayo por ultrasonidos se utilizan exclusivamente las ondas en forma de impulsos cortos cuya duración es del orden de microsegundos (micro s) y el tiempo que transcurre entre impulsos consecutivos es el del orden de los milisegundos (ms), se deduce entonces que el sistema de ensayo, está listo para recibir señales la mayor parte del tiempo, aproximadamente mil veces más tiempo recibiendo que emitiendo.

#### 3.1.4 Tipos de ondas

El sonido puede propagarse por un material según dos tipos fundamentales de onda: longitudinal y transversal. También existe otro tipo de onda combinación de las dos anteriores que es la onda superficial muy poco utilizada y dos últimos tipo de onda denominada de Lamp y de barra, está ultima no se explicará debido a que su empleo industrial es prácticamente nulo hoy en día.

##### 3.1.4.1 Onda Longitudinal

Se denominan así porque las partículas del material oscilan en la misma dirección en que se propaga la onda. Se llama también onda de compresión y es el tipo de onda que se produce cuando hablamos

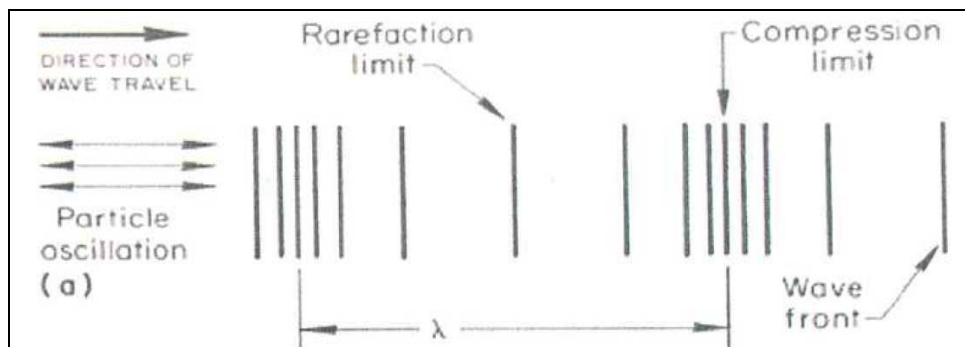


Figura 3.5 Esquema de ondas ultrasónicas longitudinales

### 3.1.4.2 Onda transversal

En este caso las partículas de material oscilan perpendicularmente a la dirección de propagación. Por tanto, el esfuerzo entre los distintos planos de átomos tiende a cortar el material, de ahí la denominación de onda de cizalladura con que también se las conoce.

Este es el tipo de onda que se produce al sacudir la cuerda: las partículas de la cuerda se mueven de arriba abajo, mientras que el impulso se propaga a lo largo de la cuerda. Este tipo de onda sólo es posible en los materiales sólidos, ya que ni en los líquidos, ni en los gases presentan ninguna resistencia a la cortadura o cizalladura, siendo incapaces de transmitir esfuerzos de este tipo.

La velocidad de propagación de las ondas transversales es siempre menor que las de las longitudinales del mismo material. En acero es del orden de la mitad (5920 m/s para las longitudinales y 3240 m/s para las transversales)

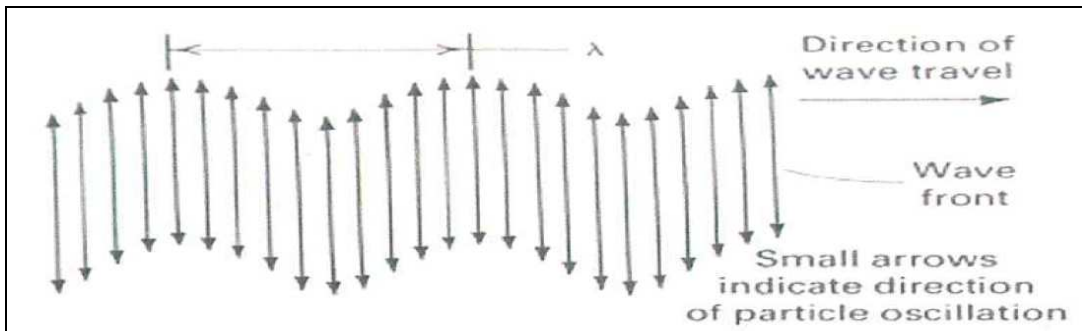


Figura 3.6 Esquema de ondas transversales

### 3.1.4.3 Onda superficial

Se llama también ondas de Rayleigh y son un caso particular de onda transversal. Afectan sólo a la superficie del material y se parecen a las ondas que se producen en el agua cuando lanzamos una piedra.

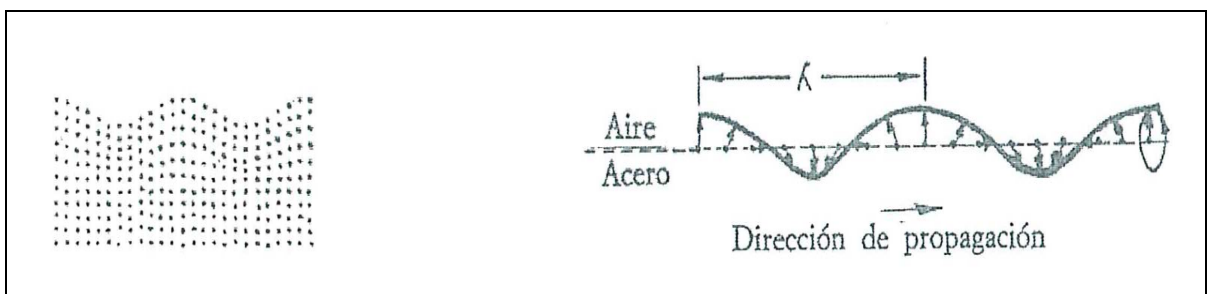


Figura 3.7 Esquema de ondas transversales. Detalle de su dirección de propagación



### 3.1.5 Impedancia Acústica

Es el parámetro que caracteriza a un reflector o defecto, junto con su tamaño, forma y orientación, como se verá en otros apartados posteriores y viene dada por el producto de la velocidad acústica de las ondas longitudinales por la densidad del material. Se representa por la letra  $Z$  y

$$Z = v * \rho$$

Donde  $v$  es la velocidad dada en  $[m/s]$  y  $\rho$  la densidad  $[Kg/m^3]$ . Por tanto  $Z=[Kg/m^2 s]$

Podemos decir que la impedancia acústica es una medida de la resistencia que opone un material a ponerse en vibración pero no indica nada acerca de la resistencia del material al paso de la onda (atenuación). Con el ejemplo del péndulo se entiende fácilmente, un material de alta  $Z$  sería equivalente a un péndulo de masa muy elevada que exigiría mucho esfuerzo para desplazarlo a su posición de equilibrio y que entrase en vibración, sin embargo, un péndulo ligero puede ponerse a oscilar con muy poco esfuerzo (baja  $Z$ ) aunque nada podemos asegurar acerca de cual de ellos se parará antes (atenuación) ya que eso no depende de su masa.

Coloquialmente en este ámbito, los materiales con poca impedancia se conocen como **acústicamente blandos** y si tienen una elevada  $Z$ , los llamaremos **acústicamente duros**.

En la tabla que se incluye a continuación podemos ver diferentes densidades, velocidades e impedancias acústicas en materiales metálicos:

Material	Densidad en $10^3 kg / m^3$ $\rho$	Velocidades acústicas $10^3 m / s$		Impedancia acústica en $10^6 kg / m^2 s$ $Z = \rho C_L$
		Long. $C_L$	Transv. $C_T$	
Aceros (baja aleación) (*)	7,85	5,82	3,19	45,7
Acero inoxidable austenítico. 18-8 (X10Cr-Ni 18-19)	8,03	5,66	3,12	45,5
Acero inoxidable mart. 13 Cr (X12Cr13)	7,67	7,39	2,99	56,7
Aluminio (Al)	2,71	6,32	3,08	17,1
Aleación AL L3120 (Al-Cu)	2,78	6,25	3,10	17,4
Aleación AL L3140 (Al-Cu)	2,78	6,19	3,11	17,2
Antimonio (Sb)	6,69	4,15	—	28
Berilio (Be)	1,82	12,8	8,71	23,3
Bismuto (Bi)	9,8	2,18	1,10	21
Bronce (Cu-Sn)	7,4-8,9	4,40-4,98	2,34	32,5-44,5
Cadmio (Cd)	8,6	2,78	1,50	24
Cinc (Zn)	7,1	4,17	2,41	30
Constantan (Cu-Ni)	8,8	5,24	2,64	46
Cobre (Cu)	8,9	4,70	2,26	42
Estaño (Sn)	7,3	3,32	1,67	24
Fundición (Fe-C)	7,2	3,5-5,6	2,2-3,2	25-40
Hierro (Fe)	7,7	5,85	3,23	45
Inconel (laminado)	8,25	7,82	3,02	64,5
Iridio (Ir)	22,42	5,4	—	137
Latón (Cu-Zn)	8,5-8,6	3,83	2,05	33
Magnesio (Mg)	1,74	5,77	3,05	10,1
Manganeso (Mn)	8,4	4,66	2,35	39
Metal duro (vidias)	11-15	6,8-7,3	4,0-4,7	75-110
Mercurio (Hg)	13,6	1,45	—	20
Monel (laminado)	8,83	6,02	2,72	53,1
Molibdeno (Mo)	10,09	6,29	3,35	63,5
Níquel (Ni)	8,9	5,63	2,96	50
Oro (Au)	19,3	3,24	1,20	63
Plata (Ag)	10,5	3,60	1,59	38
Plata alemana (Cu-Zn-Ni)	8,4	4,76	2,16	40
Platino (Pt)	21,4	3,96	1,67	85
Plomo (Pb)	11,4	2,16	0,70	24,6
Plomo – 6% Antimonio	10,9	2,16	0,81	23,6
Tántalo (Ta)	16,6	4,2	—	69
Titanio (Ti) (*)	4,51	6,005	3,019	27
Volframio (W)	19,3	5,46	2,62	105

(\*) Valores obtenidos en laboratorios del INTA

### 3.1.6 Presión acústica e intensidad acústica

La presión acústica es aquella presión a la que se encuentran sometidos los átomos de un material al paso de una onda sonora, en el caso de una onda longitudinal tomará valores positivos cuando pase una cresta del impulso, y valores negativos cuando pase un valle.

En cuanto a intensidad acústica, se entiende como tal, a la cantidad de energía que pasa por unidad de superficie en la unidad de tiempo y está relacionada con la presión acústica a través de la fórmula:

$$I = 1/2 * p^2 / Z$$

Donde  $p$  es la presión acústica y  $Z$  la impedancia del material. En general, los cálculos que se realizan en aplicaciones técnicas se prefiere utilizar los valores de presión acústica, más directamente relacionados con la altura del eco en la pantalla.

## 3.2 Reflexión y Refracción

Cuando recibimos un eco procedente de un obstáculo es debido a que parte del impulso acústico es devuelto y llega al receptor. A partir de ahora estos obstáculos, los llamaremos reflectores.

### 3.2.1 Propagación con incidencia normal ó perpendicular

Si una onda acústica incide perpendicularmente sobre una superficie plana y no rugosa que separa dos medios diferentes, una parte de la onda se reflejará y otra atravesará la interfase o superficie de separación.

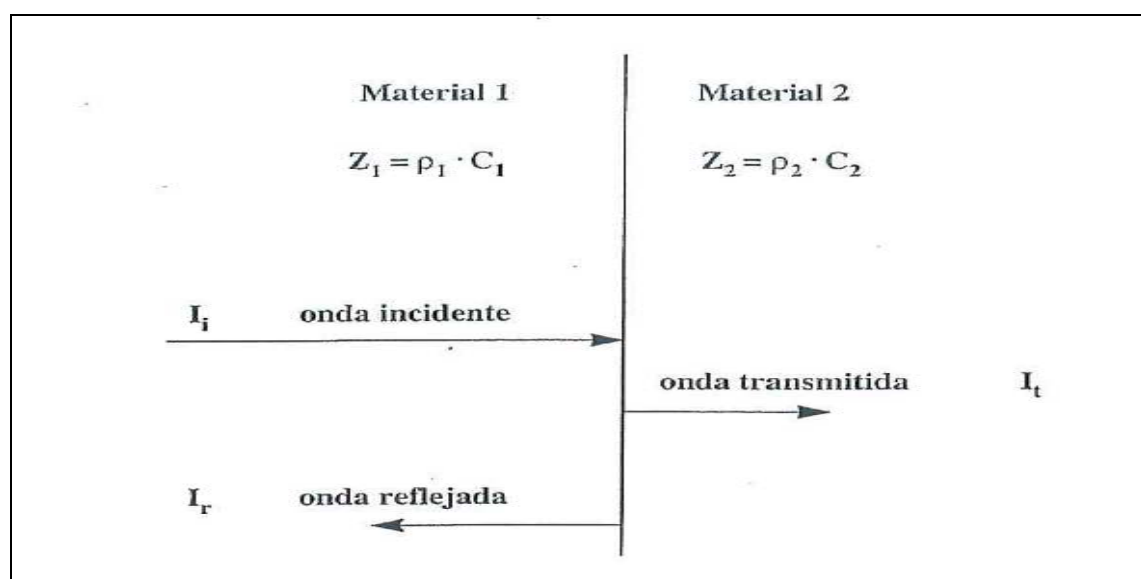


Figura 3.8 Reflexión con incidencia normal



Las fórmulas para calcular la presión acústica reflejada o transmitida son las siguientes:

Presión acústica reflejada:  $R' = \frac{Z_2 - Z_1}{Z_2 + Z_1}$

Presión acústica transmitida:  $T' = \frac{2Z_2}{Z_2 + Z_1}$

Donde  $Z_1$  y  $Z_2$  son las impedancias de los medios 1 y 2 respectivamente.

Como ejemplo supongamos que tenemos una interfase acero/agua. Conociendo las impedancias de ambos medios y suponiendo que la onda se transmite por el acero y llega a la interfase, entonces  $Z_1$  es la correspondiente al acero (medio desde el que incide la onda) y  $Z_2$  es la del agua:

$$Z_1 (\text{Acero}) = 46.106 \text{ Kg/m}^2$$

$$Z_2 (\text{Agua}) = 15.106 \text{ Kg/m}^2$$

Entonces:  $R' = \frac{1,5 - 46}{1,5 + 46} = -0,936$ ;  $T' = \frac{2 \times 1,5}{1,5 + 46} = 0,064$

Esto viene a decirnos que un 93,6% de la presión incidente se refleja y que únicamente el 6,4% se transmite al agua. El signo negativo de  $R'$  indica que la presión acústica reflejada está en oposición de fase respecto a la incidente, tal y como indica la figura a continuación.

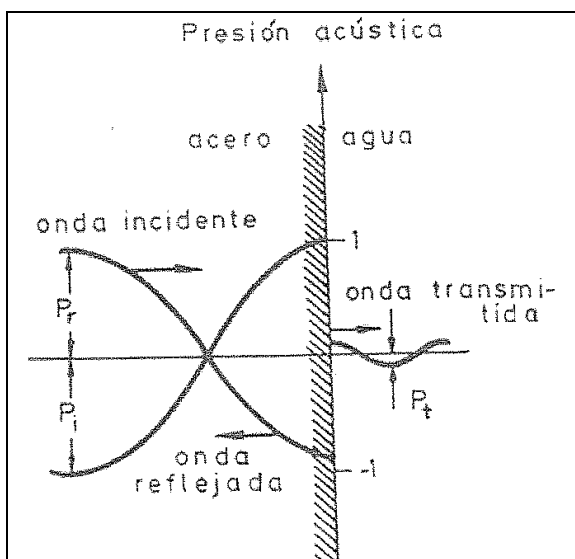


Figura 3.9 Interfase acero/agua

Si ahora suponemos que el impulso acústico procede del agua, hay que permutar los valores de las impedancias, con lo que quedaría:

$$R' = \frac{46 - 1,5}{46 + 1,5} = 0,936; \quad T' = \frac{2 \times 46}{46 + 1,5} = 1,936$$

Se refleja otra vez el 93,6% de la presión incidente pero esta vez sin cambio de fase, además la presión transmitida es casi el doble que la presión incidente:

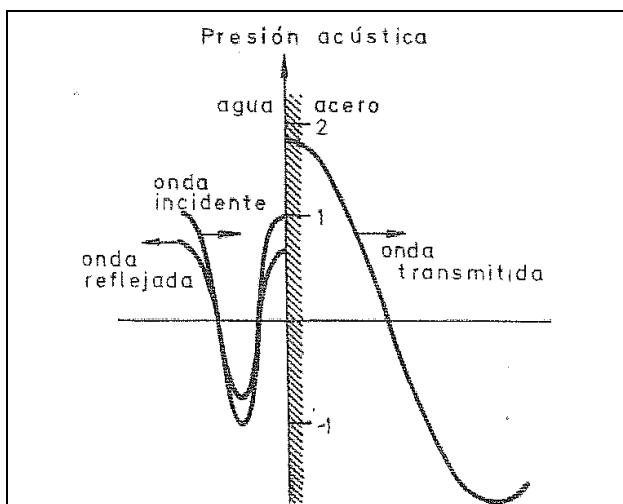


Figura 3.10 Interfase agua/acero

### 3.2.2 Propagación con incidencia angular

Cuando un frente de ondas incide de forma oblicua en la interfase que separa dos medios con distinta velocidad de propagación del sonido, ocurre dos fenómenos distintos:

- Reflexión:** El frente de ondas se refleja en la superficie de separación como si se tratara de un espejo, de manera que el ángulo de reflexión ( $\alpha_r$ ) es igual al ángulo de incidencia ( $\alpha_i$ ):  

$$\alpha_r = \alpha_i$$
- Refracción:** El frente de ondas atraviesa la interfase y penetra en el segundo medio desviado de su dirección primitiva, de modo que el ángulo de refracción no es igual al ángulo de incidencia, su relación viene expresada a través de la ley de Snell:

$$\frac{\text{Sen} \alpha_r}{\text{Sen} \alpha_i} = \frac{C_2}{C_1}$$

Siendo  $C_1$  y  $C_2$  las velocidades de propagación del sonido en los distintos medios.

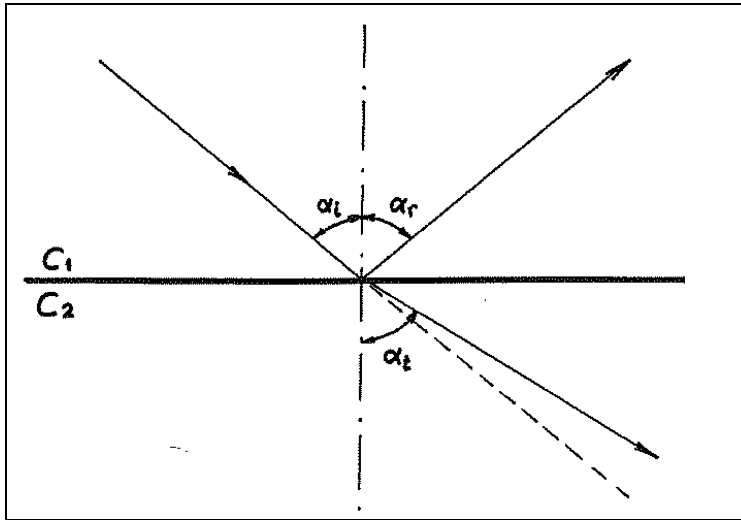


Figura 3.11 Incidencia angular

### 3.3 Utilización de palpadores y equipos

#### 3.3.1 Generación y recepción de ondas ultrasónicas

Las ondas de ultrasonido son generadas a través de unos elementos llamados transductores, como su nombre indica, es capaz de transformar la energía de una forma en otra, en este caso se pasa de energía eléctrica a energía mecánica. Ello es posible gracias a la utilización de dos efectos físicos que se pueden generar:

- Efecto piezoeléctrico
- Efecto Magnetostrictivo

##### 3.3.1.1 Efecto piezoeléctrico. Materiales Piezoeléctricos

Existen materiales, que al deformarse mediante la aplicación de una fuerza exterior producen cargas eléctricas en su superficie. Inversamente, si este material se coloca entre dos electrodos, cambia su forma al aplicar a los mismos una diferencia de potencial eléctrico, este fenómeno fue observado por primera vez en 1880 por el matrimonio Curie en un cristal de cuarzo.

Aunque durante mucho tiempo se usó el cuarzo natural como elemento activo en los palpadores de ultrasonidos, en la actualidad se utilizan preferentemente cerámicas policristalinas que se polarizan bajo la acción de un campo eléctrico con lo cual acaban adquiriendo propiedades piezoeléctricas. Estas, reciben descargas de corriente alterna que las deforman también alternativamente, produciendo vibraciones ultrasónicas.



Algunos de los materiales piezoeléctricos más utilizados son:

- Titanato- zirconato de plomo, más conocido como PZT, este es el que se utiliza en palpadores aplicados a la inspección industrial. Resulta barato y cuando es usado como emisor-receptor es el que da mejor rendimiento. No resulta adecuado para impulsos cortos.
- Metaniobato de plomo, muy adecuado palpadores de gran poder de resolución (impulsos cortos)
- Titanato de bario. Ampliamente utilizado hace 10-15 años, ha sido sustituido casi totalmente por el PZT.

Estos tipos de materiales se suministran en forma de discos o láminas cuadradas cuyo espesor depende de la frecuencia que se desee, a mayor frecuencia menor espesor. Sus caras se recubren de una sustancia conductora (generalmente plata) a la cual van soldados los electrodos. La frecuencia característica de un transductor viene dada por la ecuación:

$$f_c = \frac{v}{2e}$$

Donde  $v$  es la velocidad acústica que corresponde al material piezoeléctrico y  $e$  al espesor.



Debemos puntualizar que todos los materiales piezoeléctricos, pierden sus propiedades si se calientan por encima de una temperatura, es el punto de Curie, incluso sin llegar al límite, un calentamiento prolongado puede hacer perder características por envejecimiento que es tanto más rápido cuanto más alta es la temperatura. En la tabla que se muestra a continuación se muestran diferentes elementos piezoeléctricos y sus características principales:

## ULTRASONIDOS

## ELEMENTOS PIEZO-ELECTRICOS

CARACTERÍSTICAS-COMPARACIÓN			CUARZO SiO <sub>2</sub>	TITANATO De BARIO TiO <sub>3</sub> Ba	SULFATO de LITIO LiSO <sub>4</sub> · nH <sub>2</sub> O	METANIOBATO De PLOMO PbNb <sub>7</sub> O <sub>6</sub>	TITANATO Zirconato de PLOMO PZT
Velocidad Acústica (m/s.10 <sup>3</sup> )			5.7	5.0	5.45	2.75	3.0
Imp. Acústi (Z) (Kg·m <sup>-2</sup> ·s.10 <sup>7</sup> )			1.52	3.0	1.12	1.60	2.25
Const. dieléctric (ε)			4.58	1.35X10 <sup>3</sup>	10	2.25X10 <sup>2</sup>	1.5X10 <sup>3</sup>
Coef. amort inter (δ)			1.00003	1.0	.....	1.30	1.008-1.2
Temp. crítica (°C)			576	120	130	>400	190-350
Módulo piezoeléctrico (d) (m/V 10 <sup>-12</sup> )			2.3	125-190	15	85	150-350
Const. pres. piezoeléctrico (g) (Vm/N 10 <sup>-2</sup> )			5.8	1.2-2.1	15.6-17.5	3.2-3.7	2-4
Coef. acopla. oscil long (K)			0.1	0.4	0.35	0.42	0.675
Coef. acopla. oscil radiales (Kp)			0.1	0.3	0	0.07	0.5-0.6
Frec. resonancia plana 1 mm espesor (MHz)			2.87	2.55	2.73	1.65	2
Ganancia en 1. ciclo resp al cuarzo			1	20	13	13.5	45
Emisor			M	B	B	B	E
Receptor			B	M	E	R	R
Acoplamiento	Inmersión		B	B	E	B	R
	Contacto		R	B	M	E	E
Empleo alta temperatura			B	M	M	E	E
Resolución (Imp. Costo)			R	M	E	E	R
Módulos radiales (ruido)			B	M	E	B	M
ADECUACIÓN	CONTACTO	INC. NORMAL	B	B	M	E	E
		ANGULAR	R	B	R	E	E
	INMERSION		B	R	E	B	R

Figura 3.12 Tabla elementos piezo-eléctricos

## 3.4.1.2 Efecto Magnetoestrictivo

Se utiliza para generar frecuencias por debajo de 100 KHz (0.1 MHz), por lo que es de escasa aplicaciones en materiales metálicos, dada su baja frecuencia. Por el contrario, resulta adecuado para materiales con mucha atenuación como por ejemplo el hormigón. La magnetostricción es la deformación que experimentan algunos materiales bajo la acción de un campo magnético. Este efecto también es recíproco, de manera que es posible emitir y recibir ultrasonidos.

### 3.4.1.3 Propiedades del palpador. Campo Ultrasónico

El haz ultrasónico emitido por un palpador, como le ocurre al haz luminoso de una linterna, no es uniforme sino que presenta zonas con más luminosidad que otras. Podemos diferenciar entonces, dos zonas:

- Campo próximo: Es la zona contigua al palpador, su longitud se calcula mediante la fórmula:

$$N = \frac{R^2}{\lambda}$$

Donde:  $N$  = longitud de campo próximo

$R$  = radio del transductor

$\lambda$  = longitud de onda

Se deduce por tanto, que  $N$  no es un valor definido por el palpador, sino depende del material en el que se ensaya.

El campo próximo se considera cilíndrico ó, también de forma troncocónica con la base menor al final del mismo.

- Campo lejano, que se extiende ilimitadamente a partir de  $N$  y se caracteriza porque es divergente, el ángulo de divergencia vale:

$$\text{sen} \gamma_0 = 1,2 \frac{\lambda}{D}$$

Donde:  $\gamma_0$  = ángulo de divergencia

$\lambda$  = longitud de onda

$D$  = diámetro del palpador

Por lo general, los valores de  $\gamma_0$  suelen ser bajos y se suele utilizar la formula aproximada que nos da el valor directo en grados.

$$\gamma_0 = 68,8 \frac{\lambda}{D} \text{ [grados]}$$

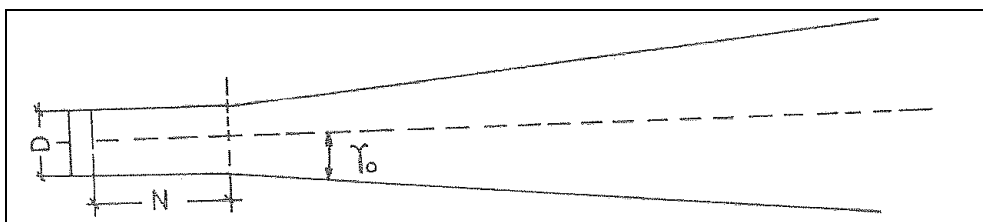


Figura 3.13 Esquema del haz de un palpador de ultrasonidos

Los valores de longitud de campo próximo y ángulo de divergencia del haz son fundamentales para la caracterización geométrica de un palpador de ultrasonidos

A continuación explicaremos la distribución de la presión acústica a lo largo del haz; mientras nos estemos moviendo por dentro del campo próximo, la presión medida a lo largo de un diámetro del haz y perpendicular al eje, presenta las oscilaciones que se aprecian en la siguiente ilustración:

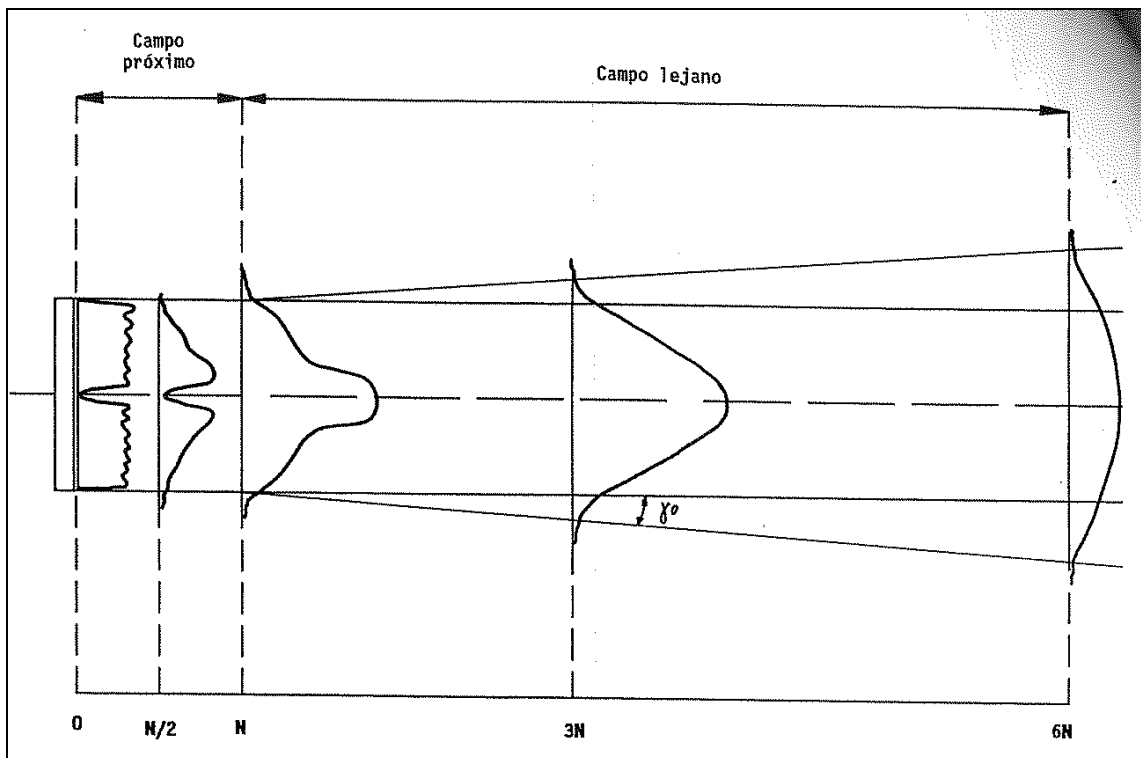


Figura 3.14 Esquema del haz de un palpador de ultrasonidos



Si la medida se hace a lo largo del eje se obtienen los siguiente gráficos

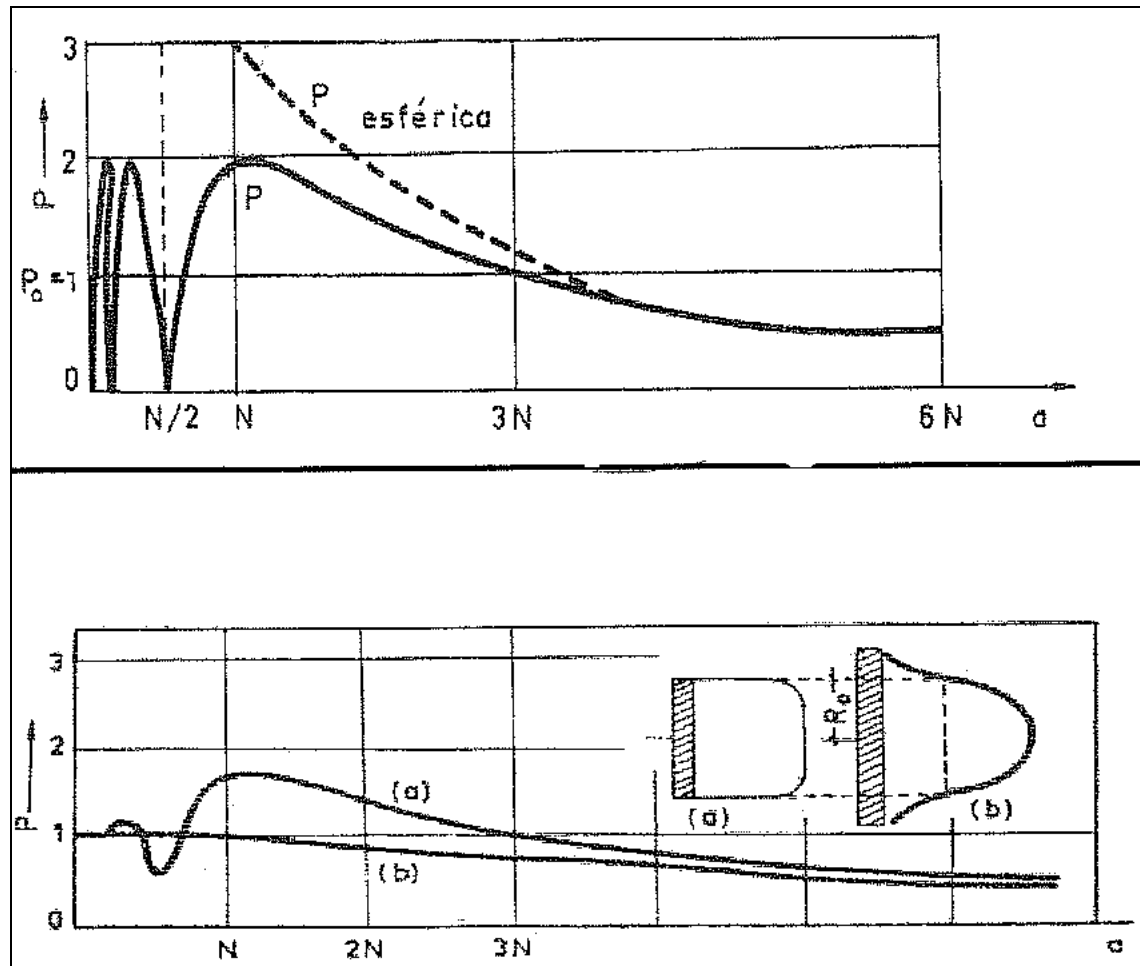


Figura 3.15 Variación de la presión acústica a lo largo del eje del haz

a) Transductor teórico (gráfico superior)

b) Palpador real (grafico inferior, 2 formas de excitación )

Analizando las figuras 3.14 y 3.15, deducimos que:

- La presión acústica no es uniforme en el haz de un palpador.
- Dentro del campo próximo, se observan máximos y mínimos con un último máximo al final del mismo.
- En el campo lejano, la presión decae de una manera uniforme, sin que vuelvan a aparecer nuevos máximos o mínimos.
- Un transductor teórico, excitado de manera continua (lo que sabemos que no ocurre en inspección industrial) puede presentar puntos de su campo próximo en donde la presión acústica es nula y por tanto, un reflector situado en ese punto sería indetectable. El palpador en esa zona es ciego.

- Por el contrario, los palpadores utilizados en la práctica tienen los máximos y los mínimos más suaves, de tal manera que no existen puntos de presión 0 en el campo próximo. En la figura 3.15 se muestra la presión a lo largo del eje en dos palpadores reales y excitados por impulsos de dos formas diferentes. El (a) que está excitado de manera uniforme, presenta unas oscilaciones más acusadas que el (b), en el que cada punto de su superficie ha recibido una excitación distinta. De esta forma las interferencias, que son la causa de los máximos y mínimos, no son tan acusadas ya que se producen entre impulsos que no son exactamente iguales y, por tanto, no pueden anularse aunque estén en oposición de fase.

Cuando un deflector se sitúa dentro del haz de ultrasonidos ocurre algo parecido a cuando un objeto recibe el haz luminoso de una linterna: El objeto se ilumina, es decir, refleja luz, devuelve parte de la luz de la linterna y esa luz que se devuelve es la que llega al observador que ve el objeto. El reflector en ultrasonidos, devuelve una parte del sonido que incide sobre él y a todos los efectos, es como si se transformase en emisor con una frecuencia igual a la que se ha recibido y su propio diámetro. A estas dos magnitudes les corresponde un campo próximo determinado tal y como vemos a continuación.

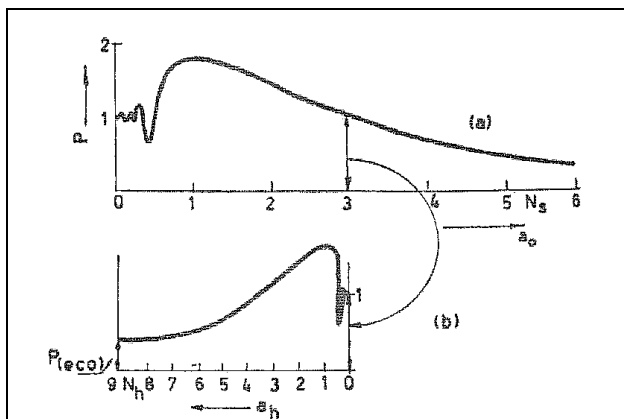


Figura 3.16 Efecto de un reflector en el eje de un campo ultrasónico

- (a) Onda emitida
- (b) Onda reflejada

Vemos que el campo próximo del reflector (b), es un tercio del correspondiente al emisor lo que significa que las áreas respectivas están en la misma relación.

### 3.4.2 Equipos y palpadores

#### 3.4.2.1 Construcción y modo de operación. Tipos de máquinas de ultrasonido

La mayor parte de los equipos de ultrasonidos funcionan por el método de pulso-eco, como el que dispongo en las instalaciones de KWD. Existen otros equipos como los de resonancia cuyo uso está limitado a medida de espesores de chapas que presenten buen acabado superficial, no es el caso de los equipos de pulso-eco que por su enorme versatilidad, han ocupado prácticamente todo el campo de uso de los ultrasonidos a nivel industrial, incluso en problemas muy especializados.

Tenemos que distinguir entre equipos que sólo miden el tiempo entre ecos y los que además miden la amplitud de los mismos. Los primeros se usan casi en exclusiva para medida de espesores y los otros son de aplicación para cualquier problema, incluido el de medición de espesores. El que nos ocupa precisamente es de este segundo tipo.

##### a) Equipos para medida de tiempo de recorrido del impulso

La indicación del tiempo de recorrido se traduce literalmente a espesor del material, por un indicador de aguja en una escala graduada o mediante un display digital. Su uso está ampliamente extendido en industrias en los que debido a problemas de corrosión, requieren un control de mantenimiento periódico en cuanto a posibles reducciones de espesor en tuberías, recipientes, etc. Se dispone de equipos que pueden medir espesores de 1mm ó menos hasta 300mm (Figura 3.17)



Figura 3.17 Medidor espesores

Algunos en vez del espesor, miden la velocidad acústica aunque no suelen ser los más utilizados.

## b) Equipos para medidas de presión acústica y tiempo de recorrido

Los equipos de impulso-eco de medida de presión acústica y del tiempo de recorrido emiten impulsos acústicos cortos, a intervalos constantes, de forma que obtenemos una respuesta periódica función de tiempo de recorrido del impulso acústico desde el oscilador emisor al receptor. El impulso acústico recibido o “eco”, procedente de su reflexión en una heterogeneidad o en la superficie límite de la muestra, se transforma en una señal de impulso eléctrico, que se visualiza según una indicación en una pantalla cuya altura es proporcional a la presión acústica del eco.

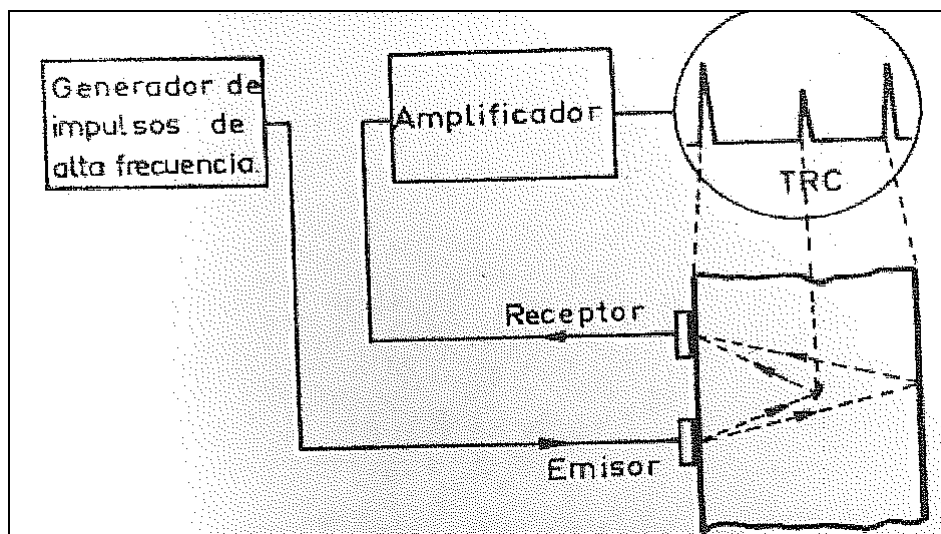


Figura 3.18 Esquema simplificado de un equipo de impulso-eco

La figura 3.18 muestra un esquema muy simplificado del equipo: El impulso eléctrico procedente del generador, excita el cristal emisor con la consiguiente emisión de un tren muy corto de ondas ultrasónicas, impulso acústico que, al encontrar un obstáculo en su recorrido, se refleja y llega al receptor. Este a su vez genera un impulso eléctrico de voltaje muy bajo, este voltaje, convenientemente amplificado, se muestra en pantalla indicando el pertinente eco de defecto.

Si el obstáculo es menor que la sección de haz emitido por el cristal, entonces la porción de haz no reflejada, seguirá su camino hasta reflejarse en la superficie opuesta. Esta reflexión llegará más tarde que la procedente de la heterogeneidad, por lo que la indicación de su eco estará situado después del de defecto y más a la derecha en pantalla. En estos equipos, el emisor y el receptor, no precisan estar necesariamente separados, sino que el propio emisor puede actuar de receptor mientras está en reposo entre dos impulsos consecutivos.

Las indicaciones de los ecos, aparecen entonces, a distancias del origen de la base de tiempo (izquierda de la pantalla) proporcionales a su distancia al oscilador y su altura es, como se ha dicho, proporcional a la presión acústica reflejada en el obstáculo.

Veamos entonces, los oscilogramas que podemos obtener con el equipo cuando su uso está destinado a la detección de heterogeneidades y que nos servirá enormemente para entender el fundamento de nuestra máquina de inspección de puntos de soldadura, que es como ya sabemos, es una aplicación concreta de este tipo de equipos:

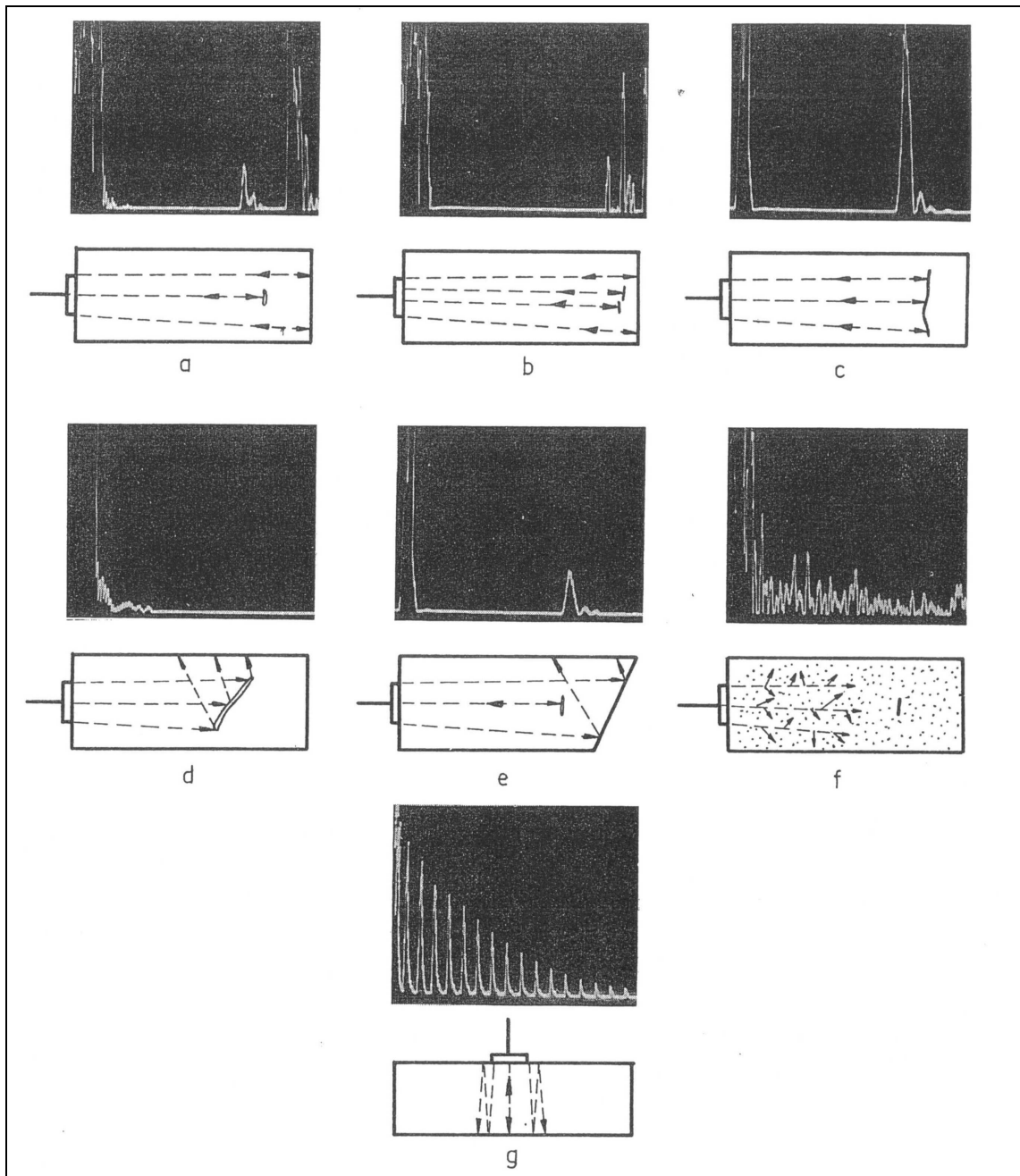


Figura 3.19 Ejemplos de ensayo por pulso-eco



- a) Si las heterogeneidades son pequeñas comparadas con la sección del haz, se obtiene simultáneamente con la indicación de su eco, la del eco de fondo de la muestra a una distancia del origen de la base de tiempos, proporcional a la distancia real.
- b) Si se presentan varias heterogeneidades a diferentes distancias, se pueden obtener indicaciones de ecos independientes, siempre que los defectos más próximos al palpador no oculten a las que están más alejadas.
- c) Si el defecto es tan grande que es capaz de interceptar todo el haz, no se obtendrá la indicación del eco de fondo ni de otras heterogeneidades más alejadas. La desaparición así pues, del eco de fondo, nos proporciona información adicional acerca del tamaño del reflector
- d) Cuando el relector se presenta inclinado respecto al pulso ultrasónico y además abarca todo el ancho de haz, no obtenemos ninguna indicación de fondo ni de la propia discontinuidad. Debemos calcular su tamaño proyectando esta pero no sabremos nada acerca de su orientación y posición, a menos que realicemos otra inspección en dirección perpendicular a la anterior.
- e) También el eco de fondo puede desaparecer por falta de paralelismo entre caras de la muestra o porque el coeficiente de atenuación del material sea muy elevado para la frecuencia del transductor que estemos usando.
- f) Si el material presenta micro-porosidades internas, como se suele dar en materiales de fundición, estas provocan mucha dispersión de haz obteniendo una gráfica caracterizada por muchos picos sin ninguna indicación de eco diferenciada
- g) Si la muestra tiene sus superficies paralelas, como es en el caso de las chapas, aparecen sucesivos ecos de fondo, siempre que el rango de la base de tiempos sea suficientemente grande como para abarcar varias veces el espesor total de la muestra. Esta sucesión de ecos múltiples se produce como consecuencia de las reflexiones sucesivas del impulso acústico al reflejarse en la pared del fondo, perdiendo en cada recorrido de ida y vuelta, una parte de su energía por la atenuación, lo que hace que en cada indicación se pierda altura en relación con la que le precede.

La pendiente de la curva que forman los picos de los sucesivos ecos de fondo, permite la medida del coeficiente de atenuación del material y también nos permite diagnosticar la tipología de defecto que podemos tener en la soldadura por resistencia, lo veremos con detalle en apartados sucesivos.





### Sistema de sincronismo

El sistema de sincronismo de un equipo está formado por un generador de barrido y por un dispositivo que regula la frecuencia de repetición de impulsos.

El generador de barrido genera el voltaje de deflexión y a la vez también la señal de sincronización que dispara el impulso eléctrico de alta frecuencia, el ritmo o cadencia de generación de esa señal es lo que se llama frecuencia de repetición de impulsos que varía entre 20 y 10000 Hz. La primera indicación en la gráfica de la pantalla es la denominada señal inicial, que se forma al la vez que el impulso eléctrico de alta frecuencia llega al cristal emisor, es decir, es el origen de la base de tiempos de la escala.

A continuación y por el efecto piezoeléctrico se origina el impulso ultrasónico que recorre el material, y se refleja en la superficie opuesta de la muestra llegando al cristal receptor, el cual nuevamente lo transforma a un impulso eléctrico de pequeño voltaje que, tras pasar por un amplificador da lugar al primer eco de fondo en pantalla. Las indicaciones sucesivas de los ecos de fondo, como ya se ha dicho son debidas al recorrido de ida y vuelta del impulso ultrasónico entre las superficies paralelas de la muestra, hasta atenuarse totalmente. Este proceso tiene lugar en muy poco tiempo, del orden de 1/50 de segundo, en el siguiente 1/50 el proceso vuelve a repetirse así indefinidamente, de manera que en pantalla se produce una serie de imágenes idénticas que se superponen, aparecen con una frecuencia igual a la de repetición de impulsos.

La deflexión horizontal, que constituye la base de tiempos se produce variando linealmente el voltaje de manera que obligamos al pincel electrónico o generador de la gráfica a recorrer la pantalla a una velocidad determinada. Esta velocidad se puede variar haciendo coincidir el tiempo que tarda en recorrer la anchura total de la pantalla con el tiempo real que tarda el impulso ultrasónico en recorrer un espesor dado de material, ello constituye la calibración de distancias.

En el método de impulso-eco, el impulso acústico recorre siempre el doble de espesor (ida y vuelta), como la velocidad del pincel o generador de la gráfica es la mitad, el resultado es que la indicación del eco de fondo aparece a una distancia igual al espesor. Como hemos dicho es posible variar la velocidad de barrido cubriendo espesores de acero desde los 0,5mm. hasta los 10 m.

### Generador de alta frecuencia

Cuando este recibe la señal de sincronización producida por el sistema de sincronismo, genera un impulso eléctrico de alta energía, la señal de emisión o señal inicial se produce al enviar el generador una fracción muy reducida del impulso eléctrico transmitido al cristal emisor, de manera que el punto de arranque de esa señal es el origen de tiempo en la pantalla. El punto de arranque de emisión marca, pues, el tiempo cero eléctrico, es decir, el momento en el que el impulso eléctrico llega al cristal emisor. Desde ese momento hasta que el impulso ultrasónico comienza a penetrar en el material, existe un cierto retardo, cuya magnitud depende del espesor de la capa o suela intermedia entre el cristal y el material a inspeccionar. Es por esto, que el tiempo eléctrico no coincide con el tiempo acústico y se produce el error de cero.



La duración del impulso ultrasónico define también la llamada “zona muerta” que es la distancia de la base de tiempos que ocupa la señal de emisión. En esa zona no será posible detectar la presencia de defectos, puesto que las indicaciones de los posibles ecos quedarían enmascaradas.

Por otra parte la duración del impulso ultrasónico es función de la frecuencia de ensayo de manera que a frecuencias más elevadas es posible utilizar impulsos más cortos que elevan el poder de resolución.

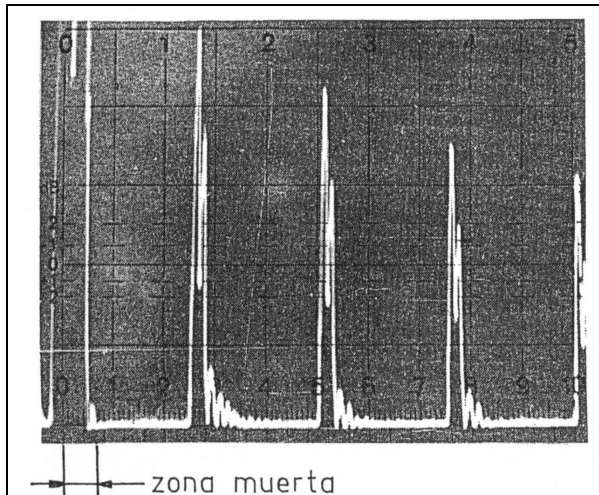


Figura 3.20 Zona muerta= amplitud del eco de emisión

### Amplificador

Los impulsos acústicos que llegan al cristal receptor después de recorrer el material, generan impulsos de voltaje  $s$  del orden de  $10^{-3}$  V. Puesto que la pantalla necesita alrededor de 100 V para poder mostrar la señal (deflexión de la base de tiempos), el amplificador deberá de tener una ganancia considerable (unos 100 dB).

El aumento de la altura de la indicación del eco en función del voltaje de entrada (ganancia del amplificador) puede ser lineal, logarítmico ó lineal a partir de un valor determinado, en este último caso, hasta que no se alcanza el umbral mínimo, no se amplifica, con lo cual no se visualiza. Es la solución que se adopta para suprimir señales de baja amplitud ó ruido, el potenciómetro que regula este umbral se suele llamar mando de supresión. Se recomienda no abusar del mando de supresión, pues aunque de esta forma la señal es más limpia, podemos pasar por alto ecos de posibles defectos en la muestra.



El mando del amplificador está graduado en decibelios (dB), unidad adimensional empleada originalmente para medir magnitudes relacionadas con la intensidad. Así, dos señales de intensidades  $I_1$  e  $I_2$  se dice que tienen una diferencia en dB de:

$$dB = 10 \log - \frac{I^1}{I^2}$$

A su vez las intensidades son proporcionales al cuadro de presión acústica:

$$dB = 10 \log - \frac{(P^1)^2}{(P^2)^2} = 20 \log \frac{P^1}{P^2}$$

También la altura de los ecos en pantalla (H) es proporcional a la presión acústica:

$$dB = 20 \log \frac{H^1}{H^2}$$

Ejemplo: la diferencia en dB entre un eco del 20% y otro del 60% será:

$$20 \log \frac{60}{20} = 20 \log 3 = 20 \times 0,47 = 9,54 dB$$

### Sistemas de representación

El más común en este tipo de equipos y también en el nuestro es el denominado A-Scan, en estos, los ecos aparecen como deflexiones verticales de la base de tiempos.

### Monitores o compuertas

Se utilizan para evaluar automáticamente las indicaciones obtenidas en pantalla, una vez realizado el procedimiento de ensayo adecuado. El proceso consiste en seleccionar una o más zonas de la base de tiempos de forma que, cuando aparezca una indicación de altura determinada en esa zona congele la imagen con el fin de determinar uno u otro tipo de defecto (relector)

### 3.4.2.2 Palpadores

Existen básicamente 3 tipos de palpadores:

#### 1º) Palpadores de incidencia normal

Un palpador de incidencia normal consta básicamente de una montura metálica, el amortiguador, el cristal, los electrodos, la conexión y el hilo conductor. La mayor parte de estos palpadores llevan osciladores que emiten ondas longitudinales

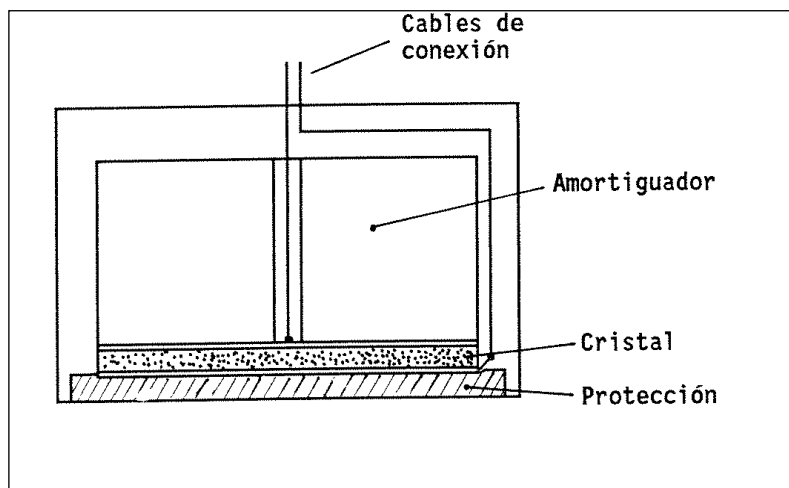


Figura 3.21 Esquema básico de un palpador de incidencia normal

El amortiguador sirve de soporte mecánico para el cristal, también reduce su tiempo de oscilación y absorbe las ondas que emite hacia atrás, que, por supuesto son idénticas a las que sale hacia delante pero que carecen de cualquier sentido práctico teniendo que ser anuladas, pues de lo contrario darían señales parásitas o aumentaría la zona muerta. Se suelen fabricar de resina sintética.

El cristal, está situado como el dieléctrico de un condensador cuyas placas son los electrodos. Estos se forman mediante una suspensión de plata a 500° C extendida sobre las caras del cristal y a las cuales van soldadas las conexiones.

En ocasiones, los palpadores suelen llevar una suela de plástico endurecido para evitar el desgaste, en caso de carecer de esta, la capa de plata de la superficie inferior que recubre el cristal se suprime, actuando como electrodo el propio material que se inspecciona.

Un tipo especial de palpadores normales son los que tienen doble cristal, que sirven para explorar la zona muerta de los palpadores normales que, como ya sabemos impide detectar reflectores próximos a la superficie de exploración.

Los cristales se encuentran aislados tanto eléctrica, como acústicamente, actuando uno como emisor y otro como receptor; además están montados sobre una columna de plástico con cierta convergencia que hace que se concentre el haz ultrasónico. Esto nos permite conseguir la máxima sensibilidad en las proximidades de la superficie de l material a ensayar.

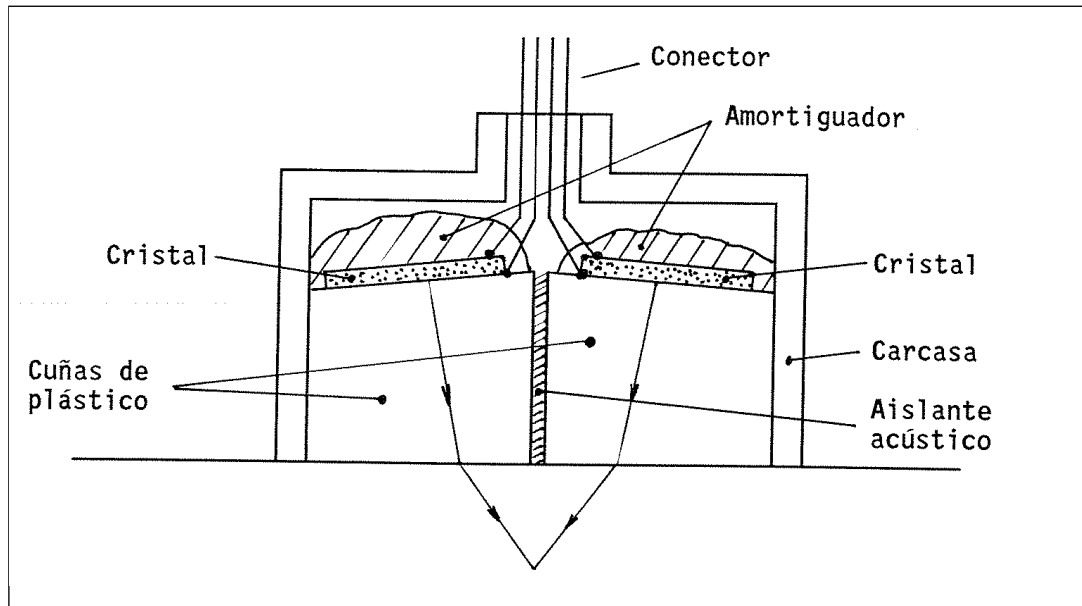


Figura 3.22 Esquema básico de un palpador bi-cristal

## 2º) Palpadores angulares

Se construyen montando un palpador normal sobre una cuña de perpex (metraquilato) con un ángulo adecuado de forma que la refracción en el material a inspeccionar se produzca según el ángulo y el tipo de onda deseado. Los más usuales son de 45, 60 y 70° de ondas transversales, es decir, el ángulo de incidencia en el perpex es superior al primer ángulo crítico.

La parte frontal está formada por un material absorbente que evita el retorno al cristal de las ondas reflejadas en la interfase.

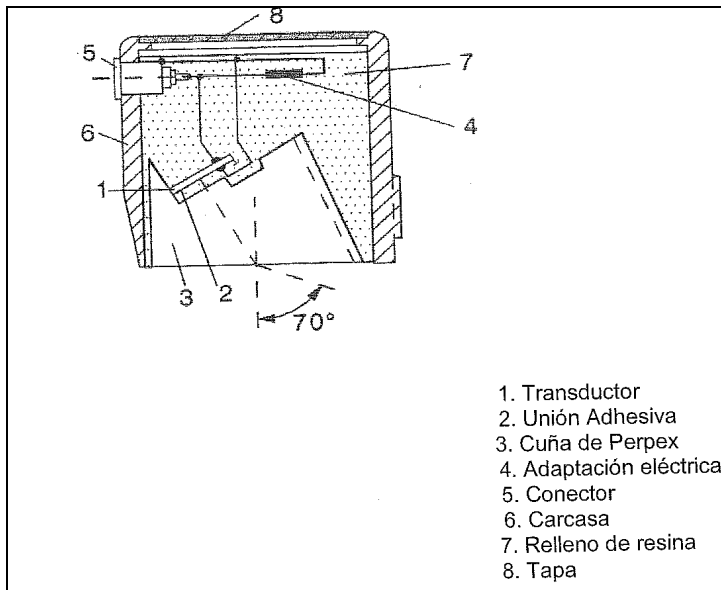


Figura 3.23 palpador angular

### 3.4.2.3 Características del sistema equipo-palpador. Poder de resolución. Zona Muerta

El poder de resolución mide la capacidad de detectar separadamente reflectores muy próximos y depende de:

- Características constructivas del palpador. Si estos son de impulsos cortos y además amortigua entonces tendremos el máximo poder de resolución.
- Características del equipo. La forma y duración del impulso eléctrico con que se excita el cristal condicionan también al impulso acústico. Cuanto más corto sea el impulso acústico, mayor será el poder de resolución.

La anchura de banda del amplificador también influye en el poder de resolución, así un palpador de impulsos cortos debe usarse en combinación con un amplificador de banda ancha.

La zona muerta la podríamos definir a estas alturas como el poder de resolución de la señal inicial. En definitiva, un palpador de alta resolución presentará en general, un zona muerta pequeña, por lo que las observaciones anteriores son también aplicables en este caso.

### 3.4.3 Medio de acoplamiento

El aire transmite muy mal el sonido a las frecuencias que se utilizan en inspección. El contraste de impedancia entre el aire y el acero es, además tan grande que aún en el supuesto de que el aire transmitiese bien, la practica totalidad de la energía se reflejaría en la interfase, independientemente del grosor que presente.



Por esta razón, para poder inspeccionar por contacto, es necesario el uso de algún medio de acoplamiento que mitigue este efecto en la interfase.

La mayoría de los acoplantes son líquidos o semilíquido, entre los más usados tenemos:

- Agua
- Aceite mineral
- Glicerina
- Grasa consistente
- Grasa de silicona
- Pasta de empapelar

La selección del acoplante adecuado hay que hacerlo teniendo en cuenta:

- Acabado superficial de la pieza
- Temperatura de la pieza
- Limpieza después del ensayo
- Costo

El agua y otros acoplantes de baja viscosidad, están indicados para superficies con un buen acabado.

En las superficies rugosas hay que usar aceites de baja alta viscosidad o grasa, pues tienden a llenar los huecos mejorando la transmisión

La glicerina no se considera un buen acoplante y esta prohibida en algunas aplicaciones como la aeronáutica. Sin embargo, tiene la ventaja de que no mancha ni irrita la piel. A veces se utiliza mezclada con agua o como aditivo a la pasta de empapelar. Esta última, es barata y su viscosidad se puede regular variando su proporción de agua con lo que se puede aplicar incluso a inspecciones sobre paredes verticales o a techos.







## **4.-Aplicación especial del uso de los ultrasonidos para inspección de puntos de soldadura por resistencia**

---

### **4.1 Introducción**

El método de inspección mediante ultrasonidos de puntos de soldadura, no se basa en las técnicas habituales de detección de discontinuidades descritas en el apartado anterior, lo que se pretende precisamente es ver el estado de una buena continuidad en el material, es decir, que en el punto se garantice que la unión soldada sea correcta.

Se deduce del párrafo anterior que la técnica a aplicar se basa en las características de la atenuación de los ecos. La configuración cristalográfica del punto provocará una dispersión del sonido que se verá reflejada en la sucesiva atenuación de los ecos que se presentan en pantalla, siendo de mayor o menor amplitud esta atenuación en función de la “calidad” del propio punto.

No obstante, como bien veremos, con el empleo de las técnicas convencionales que ya hemos descrito si que se puede medir el espesor del punto y también localizar poros o sopladuras.

Para la aplicación de esta técnica de inspección, es necesario el uso de unos palpadores que tienen unas características especiales porque están diseñados para conseguir que la superficie de contacto se adapte lo mejor posible a las condiciones geométricas de un punto de soldadura que, como sabemos no siempre resultan ideales. La frecuencia de ensayo de los palpadores, dado el pequeño espesor de las chapas es de 20 MHz.

### **4.2 Equipos y palpadores**

Cualquier equipo de generación de ultrasonidos puede ser apto para la aplicación de este método si usamos los palpadores adecuados, es preferible el uso de equipos portátiles que faciliten la inspección directamente en línea, en nuestro caso la máquina es un equipo de sobremesa que tiene cierta portabilidad aunque no resulta tan versátil como un portátil.

#### 4.2.1 Palpadores o transductores de retardo por columna de agua

Los palpadores empleados en la aplicación de esta técnica son como hemos dicho especiales y son del tipo denominado “de retardo por columna de agua”



Figura 4.1 Transductores para inspección de puntos

En la figura 4.2 se representa esquemáticamente los elementos más significativos de estos palpadores:

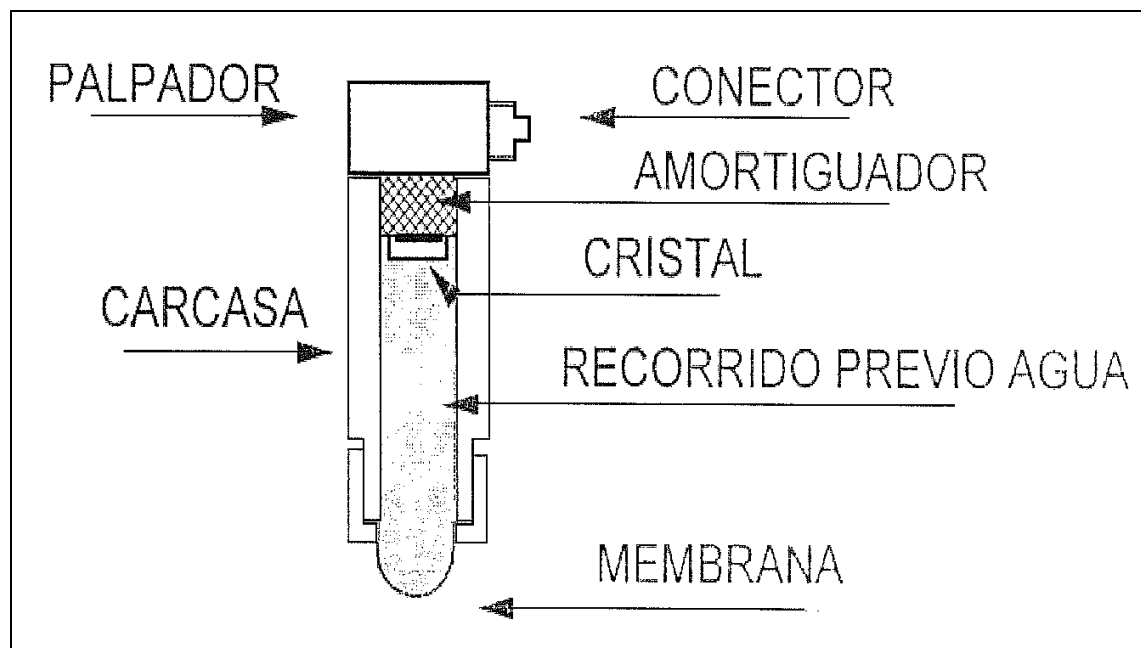


Figura 4.2

La frecuencia normal en aceros es la de 20 MHz, tal y como habíamos indicado en el apartado 4.1; no obstante existen en el mercado otros palpadores de 15MHz, pero esta frecuencia sólo es de aplicación a la inspección de espesores grandes, del orden de 4+4 mm. en adelante. Este no es nuestro caso, debido a que el grosor máximo de chapa que utilizamos actualmente es de 2.5 mm.

En caso de aleaciones de aluminio o aceros inoxidables podrían ser necesarios incluso frecuencias inferiores.

El cristal de este tipo de transductores se realiza en diferentes diámetros con el fin de adaptarse al rango de diámetros de las lentejas de soldadura que se realizan. Un tamaño inadecuado, sobre todo inferior, puede dar lugar a la interpretación errónea de la calidad de un punto, dicho esto podríamos obtener un punto pequeño usando un palpador demasiado “grande” o al revés, dar un punto por bueno, siendo pequeño ya que no abarcaríamos todo el diámetro “real” de la lenteja.

En el mundo de la automoción, no tenemos una estandarización de las normativas acerca del diámetro del punto de soldadura que tenemos que tener, pero si que está relacionado con el espesor de las chapas. En el caso de nuestro cliente que es VW, sabemos el diámetro mínimo de “lenteja” porque nos lo da como requerimiento en plano, y así consta en los planes de inspección de cada referencia en el departamento de calidad aunque podríamos aplicar la regla generalizada de  $2 \times \text{espesor más fino} + 3\text{mm}$ . También podemos indicar que los diámetros de huella se han ido estandarizando de acuerdo a los diámetros de las caras activas de los caps empleados. Esta aproximación nos indicaría el diámetro de la huella que más o menos puede ir relacionada con el diámetro de lenteja:

<i><b>Diámetro cara activa cap</b></i>	<i><b>Diámetro huella punto soldadura</b></i>
13mm	5mm
16mm	6mm
20mm	8mm

#### 4.2.2 Selección correcta del palpador

Para ser los más exactos posibles en relación al uso correcto de los palpadores, la selección de los mismos se harán teniendo en cuenta siempre la norma del fabricante y si no se dispone haremos uso de la siguiente fórmula:

$$D = 4x\sqrt{d_1}$$

Siendo  $D$ = diámetro del cristal y  $d_1$  el espesor de la chapa más fina tal y como se aprecia en la figura 4.3

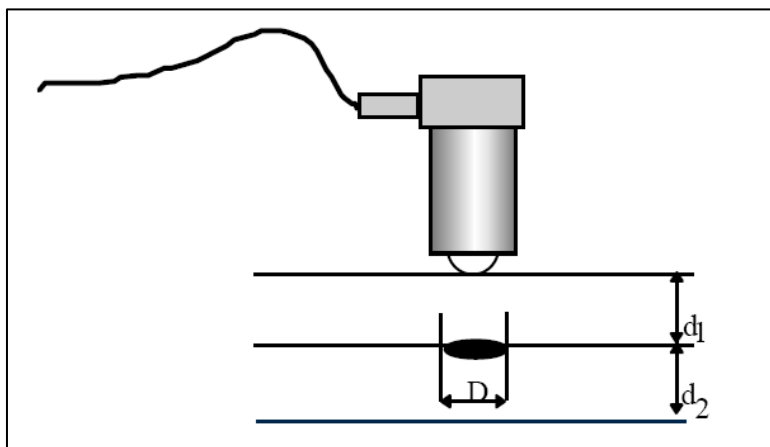


Figura 4.3 Elección del tamaño del transductor



#### 4.2.3 Preparación previa de los palpadores

Al contrario que otros transductores usados en inspección por ultrasonidos. Es de fundamental importancia el estado de la membrana que está en contacto directo con la huella del punto de soldadura, esta debe estar en todo momento tensa y que sobresalga de 4 a 7mm del cuerpo o carcasa de transductor; y fundamentalmente que esté libre de burbujas de aire, pues de lo contrario daría falsas lecturas.

Estas membranas están fabricadas a base de látex que pueden tener diferente textura, elasticidad y grosor. Se deja a gusto del operador la elección de la misma, pero no obstante, se tiene que tener en cuenta que estas diferencias en las características, originarán el tener que trabajar con diferentes ganancias.

#### 4.2.4 Acoplante

Ya sabemos que es necesario el uso de acoplantes para una perfecta comunicación del palpador con el material a inspeccionar, usaremos un acoplante de base acuosa que no contiene siliconas ni tampoco genera oxidaciones en el material.

#### 4.3 Método operativo

En primer lugar se procederá a la calibración del equipo con respecto a los espesores de las chapas a inspeccionar.

##### 4.3.1 Calibración

A grandes rasgos, la calibración de cualquier equipo destinado a inspección de puntos de soldadura se resume en los siguientes puntos:

- a) Elegiremos el palpador adecuado al diámetro del punto a inspeccionar de acuerdo a la fórmula explicada anteriormente. En función del resultado, elegir un palpador con el diámetro exacto ó en su defecto el inmediatamente superior.
- b) Verificaremos el estado de la membrana y su correcto llenado de agua y lo conectaremos al equipo con la máxima precaución a través de un cable, este suele ser de tipo microdot y tiene unos conectores delicados.
- c) Ajustamos en el equipo la velocidad de transmisión del haz ultrasónico, como sabemos, para el acero es de 5,92 m/s
- d) Una vez localizado el eco de emisión a través del denominado mando de retardo, procederemos a presionar con la yema de un dedo la membrana protectora externa del palpador, a fin de comprobar que se ha establecido la preceptiva comunicación entre este y el equipo



- e) Colocando el palpador sobre el material base, en una zona externa a la unión soldada, y teniendo en cuenta la posibilidad de que los espesores de las chapas no sean iguales, efectuaremos la calibración sobre el elemento de menor espesor, y se inspeccionará haciendo que el haz ultrasónico penetre en la unión a través de la chapa más delgada (siempre que esto pueda ser posible)

Por medio del mando de “retardo” se situará el eco de emisión a la izquierda de la base de tiempos, y mediante el mando de “rango”, configuraremos esta para obtener unos 10 ecos de fondo aproximadamente, con una ganancia de alrededor de 40 dB

Con estos pasos, el equipo estaría listo y calibrado para poder empezar la inspección, más adelante se definirá en detalle la configuración exacta de nuestro equipo ScanMaster swi-100 UPI 50 spotweld-inspector, el cual dispone de un software bastante actualizado que facilita algo la entrada de datos importantes como son, el espesor de la chapa, la frecuencia de oscilación del palpador, velocidad de transmisión, etc.

#### 4.4 Inspección de los puntos

Para la inspección mediante ultrasonidos de los puntos de soldadura por resistencia, es necesario estudiar de antemano y conocer que existen cuatro modelos o patrones básicos para poder determinar la calidad de un punto de soldadura. Estos modelos son fruto de la experiencia y no siempre son fáciles de definir:

- Punto correcto o bueno
- Punto pequeño
- Punto frío ó pegado
- Punto falto de fusión o suelto
- Punto quemado
- Punto con poros

Esta defectología ya se explicó al inicio del proyecto en el apartado 2.1.3 (Defectos relativos al núcleo o lenteja de soldadura) por lo que obviaremos aquí su significado.

El modo de clasificar el correcto o incorrecto estado de un punto de soldadura es observando la **atenuación** que se va dando entre los sucesivos ecos de fondo que se presentan en pantalla, además claro está, del número de los mismos que tengamos; a excepción del punto suelto, estos tienen que ser como máximo la mitad del obtenido en la calibración sobre una chapa, ya que si la distancia entre eco y eco es el espesor de la chapa, el correspondiente a un punto, será entonces la suma de las dos chapas menos la reducción de las huellas dejadas por la presión de los electrodos (En otras palabras, la distancia entre ecos de fondo será aprox. el grosor total del conjunto ensamblado).

Por otra parte la atenuación que se produce en la propagación de los ecos intermedios nos proporcionará una indicación relacionada con el diámetro de la lenteja de soldadura y sus “posibles defectos”.

#### 4.4.1 Realización de la inspección

Para una correcta realización de la inspección deberá tenerse en cuenta lo siguiente:

- a) Posicionaremos el palpador sobre el punto procurando que este perfectamente centrado con relación a la unión a ensayar y manteniendo unos  $10^\circ$  aproximadamente con respecto a la vertical del punto, de no ser así podrían aparecer ecos de fondo con indicaciones tipo “punto pequeño” entre el eco de emisión y el primer eco de fondo que daría lugar a interpretaciones erróneas.

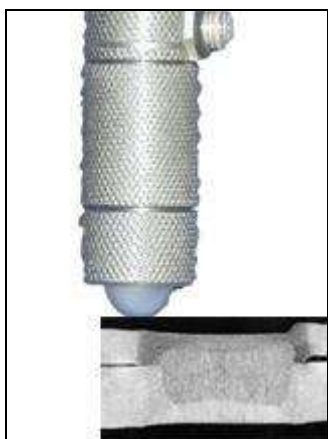


Figura 4.4 Transductor mal posicionado



Figura 4.5 Transductor bien posicionado y centrado

- b) En toda inspección el primer eco de fondo debe ser más alto que el siguiente y así sucesivamente, en caso contrario la situación del palpador no es correcta, no lo habremos posicionado perpendicularmente al punto a inspeccionar.

Por otra parte aplicaremos siempre una pequeña porción de acoplante entre el punto y la membrana, normalmente es suficiente con que el gel “moje” su superficie.

Tampoco es necesario aplicar una excesiva presión sobre la muestra para poder captar una buena señal, pues es posible que acabemos pinchando la membrana.

- c) En la inspección de este tipo de uniones soldadas, es conveniente que la ganancia de la señal nos permita alcanzar entre el 80 y el 90% de la altura total de la pantalla.

#### 4.4.2 Descripción de los patrones básicos

En esta sección explicaremos las características que presentan las señales que obedecen a un tipo u otro de defecto.

##### 1) **Punto Bueno** (Good weld)

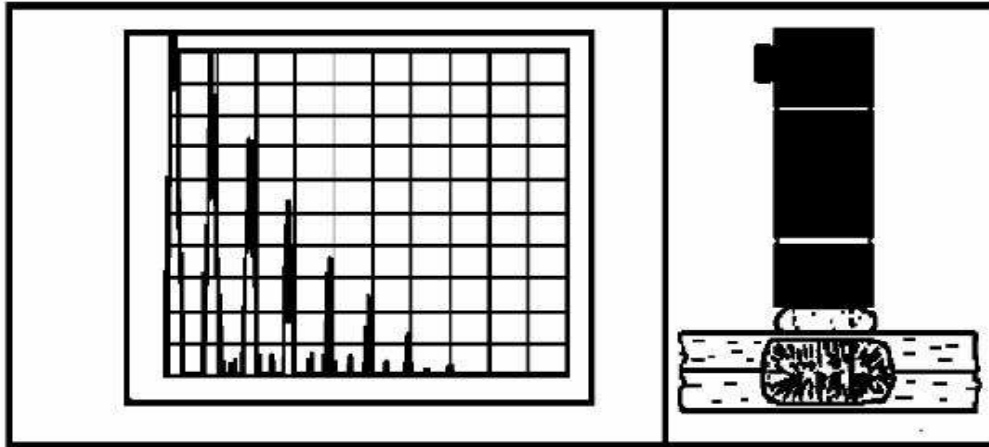


Figura 4.6 Secuencia de ecos de un punto bueno

La indicación correspondiente a un punto bueno en soldadura se caracteriza porque los ecos de fondo presentan una fuerte atenuación (curva de atenuación muy acentuada).

El número de ecos de fondo la distancia entre ellos estará en función de la suma de espesores y de las características metalúrgicas de la chapa (a grano más grueso menos ecos porque tenemos más atenuación).

Los ecos secundarios o ecos de defecto no sobrepasan el 10% de altura de pantalla, esto es porque el diámetro de la lenteja es lo suficientemente grande como para abarcar la mayoría del haz ultrasónico.



## 2) Punto Pequeño (Small nugget)

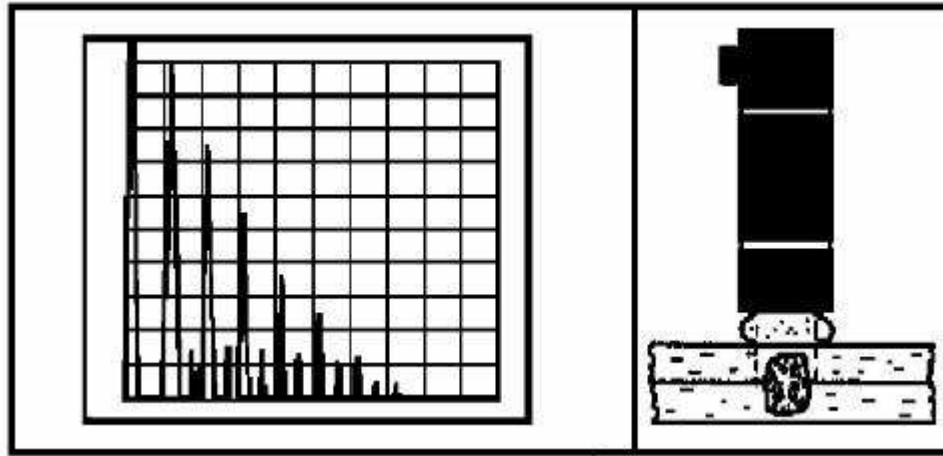


Figura 4.7 Secuencia de ecos de un punto pequeño y fuerte (mucho grosor de lenteja)

Podemos tener diferentes ejemplos de puntos pequeños pero como resumen veremos dos situaciones. La figura 4.7 es el ejemplo de punto pequeño, pero fuerte a su vez.

La gran atenuación de los ecos de fondo indica que el punto está agarrado pero vemos que aparecen ecos secundarios entre estos, lo cual nos dice que parte del haz ultrasónico no ha incidido en la lenteja sino que lo ha circundado y se ha reflejado en la interfase de las dos chapas.

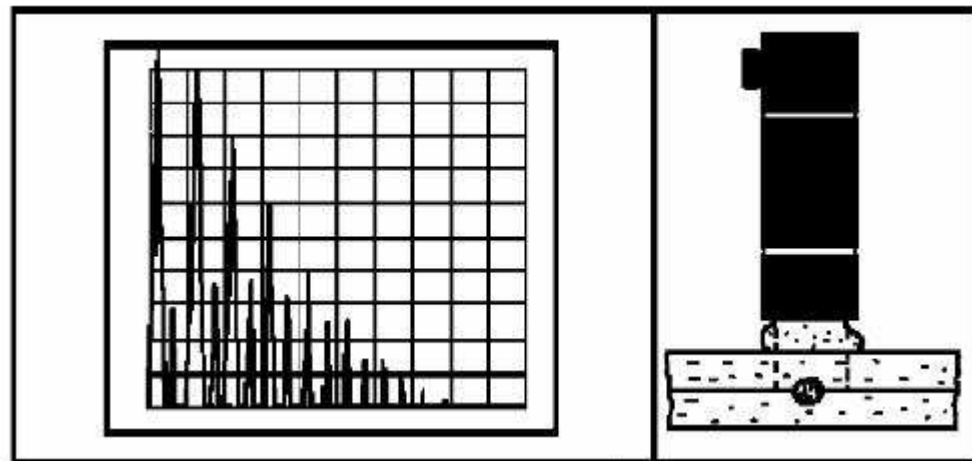


Figura 4.8 Secuencia de ecos de un punto pequeño y no ligado lateralmente (poco grosor de lenteja)

En este segundo ejemplo de punto frío vemos que la altura de los ecos intermedios es mayor, lo cual a menor tamaño de diámetro y espesor de lenteja, más altos son porque mayor es el haz reflejado en la interfase.

Los inspectores de ultrasonidos experimentados, son capaces de predecir si un punto pequeño es fuerte ó por el contrario presenta una resistencia mecánica pequeña, es decir, distinguir más o menos las dos situaciones que hemos explicado. Si nos fijamos en los picos de los ecos secundarios y trazamos una línea de unión entre ellos, podemos ver que la curva formada se asemeja a un sombrero, de hecho por su forma lo denominan “**sombrero de napoleón**” (Napoleon’s hat) cuando el sombrero de napoleón presenta una anchura pronunciada (véase figura 4.9), estaremos ante un punto con poco grosor de lenteja que tendrá menos resistencia que otro punto cuyo “sombrero” sea más largo y esbelto” (menos altura de los ecos secundarios).

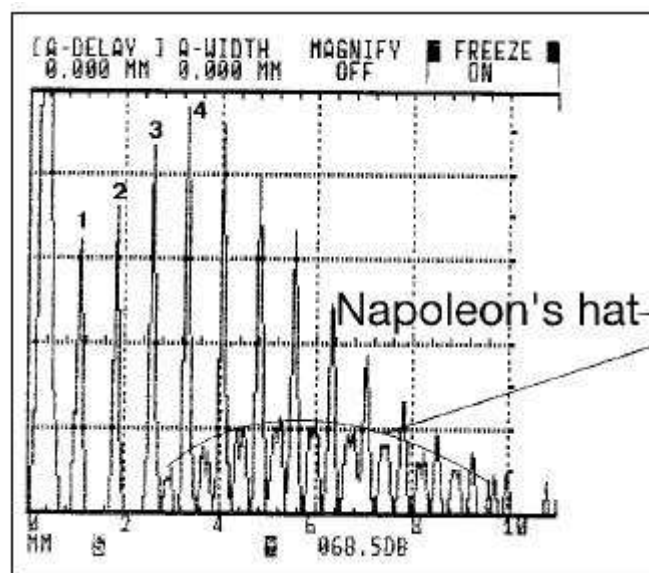


Figura 4.9 Secuencia de ecos secundarios con forma de “sombrero”

### 3) Punto frío o pegado (Stick Weld or Cladding)

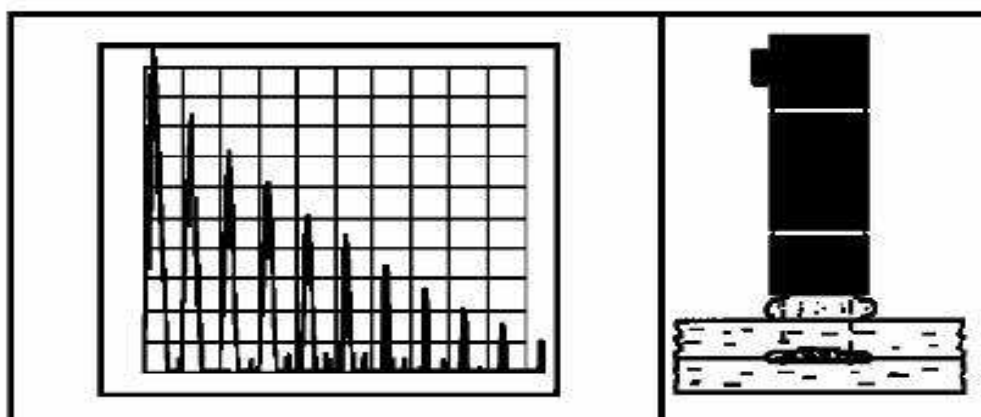


Figura 4.10 Secuencia de ecos de un punto frío

Cuando tenemos un punto frío, no tenemos discontinuidad física del material (tenemos lenteja pero es muy fina). El aporte de calor no ha sido el adecuado como para fundir suficiente metal y su microestructura no posee un grano tan grueso como el de un punto válido, por este motivo su atenuación es menor y decae más lentamente. El diámetro de la lenteja si que es lo suficientemente grande como para no dar lugar a ecos intermedios por lo que puede dar lugar a confusiones, de hecho este es el defecto más difícil de diagnosticar.

Se puede dar el caso de tener la situación de un punto frío y pequeño a la vez, se distinguen porque aparecen ecos secundarios mayores al 10% de altura de pantalla y cuya posición dependerá del espesor de la lenteja, a menor espesor más desplazamiento hacia la izquierda.

#### 4) Punto quemado (Burnt spot)

Este defecto es fácilmente detectable en una inspección visual, su aspecto exterior requemado lo delata, no obstante se puede evidenciar también mediante inspección ultrasónica aunque es bastante difícil por la disparidad de resultados que tendremos.

Podemos tener una fuerte atenuación y por tanto con muy pocos ecos o bien si por causa de exceso de corriente el punto está muy recalcado, nos dará más ecos de pantalla puesto que el espesor resultante es menor. A continuación se muestran un ejemplo de punto quemado y un punto bueno

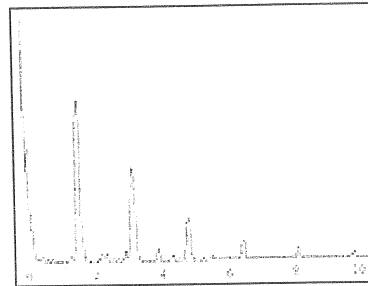
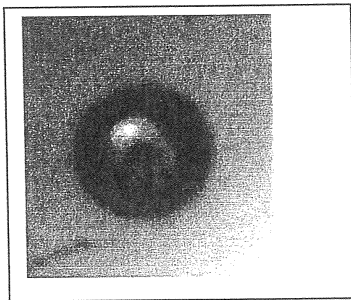


Figura 4.11 Punto quemado

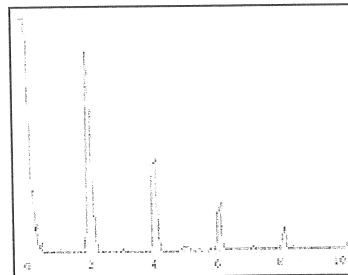
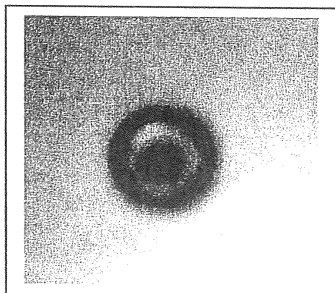


Figura 4.12 Punto bueno

En estas imágenes podemos observar que la separación entre ecos del punto bueno son algo mayores que en el punto quemado, esto es normal porque el quemado está más recalcado, tiene más huella y por tanto menor espesor. Al mismo tiempo la atenuación en el punto quemado es mayor porque el exceso de corriente nos da una configuración de grano más basta y tenemos más dispersión.

#### 5) Punto falto de fusión o suelto (Unwelded)

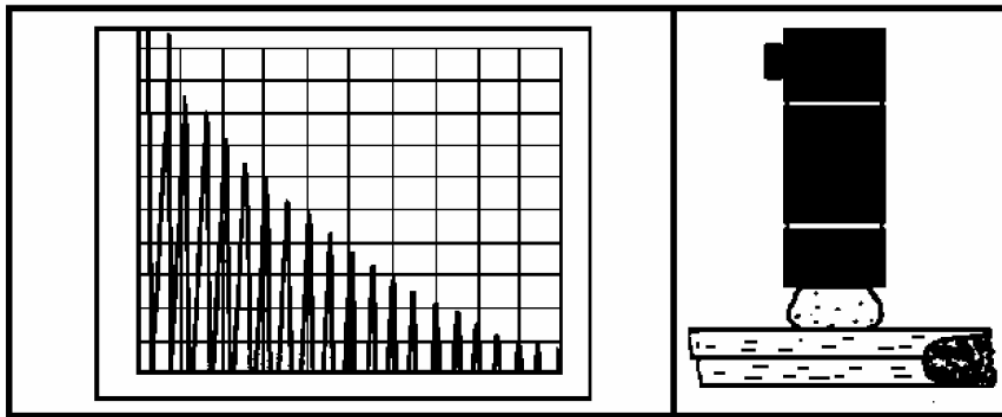


Figura 4.13 Secuencia de ecos de un punto suelto

En este supuesto el gráfico muestra que no hemos conseguido una continuidad física de material entre ambas chapas, por ello, el detalle más llamativo de este tipo de defecto es que la distancia entre ecos equivale al espesor únicamente de la chapa superior; muy parecida a la que obtendríamos en chapa sin soldar, no obstante, en función de las características metalúrgicas que tengamos, se producirá más atenuación que en la chapa que no ha sido sometida a un proceso térmico como consecuencia de la operación de soldeo.

#### 6) Punto con poros u otros defectos

Con la práctica, es evidente que es posible localizar puntos con otros tipos de discontinuidades como sopladuras, puntos vacíos, poros internos, etc. Estos generalmente aparecen como ecos intermedios cuya amplitud suele ser mayor que la secuencia de ecos intermedios para un punto pequeño siguiendo la regla general de que a mayor tamaño de porosidad, mayor es la altura del eco que lo identifica en pantalla.

Puede darse el caso de que se presenten dudas acerca de si el punto es pequeño ó simplemente estamos ante un poro interno. En este caso la forma de salir de dudas es utilizar un transductor cuyo cristal sea de diámetro algo menor que el punto.

Si usamos esta sonda barremos el punto del centro hacia los bordes. Como vemos en la figura 4.14 en la posición donde el transductor permanece centrado, aparecen una secuencia de ecos intermedios; en la segunda posición del transductor justo en el borde de la lenteja vemos que ya no surgen. Esto significa que estamos ante un poro o rechupe interno, si fuera punto pequeño, lógicamente en cualquier posición seguirían apareciendo ecos de defecto.

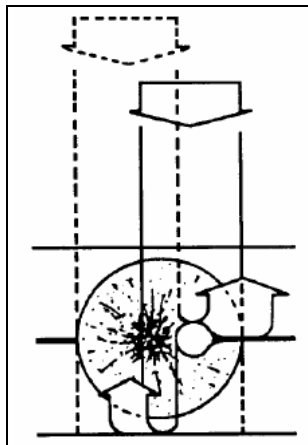


Figura 4.14 Forma de descartar si el punto es pequeño o presenta una porosidad interna.

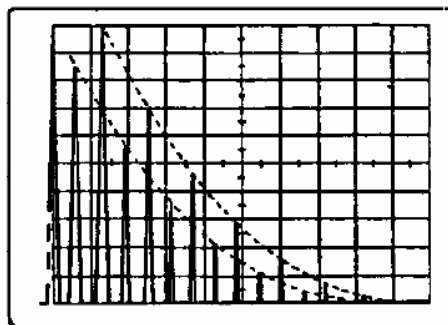


Figura 4.15 Oscilograma con palpador centrado

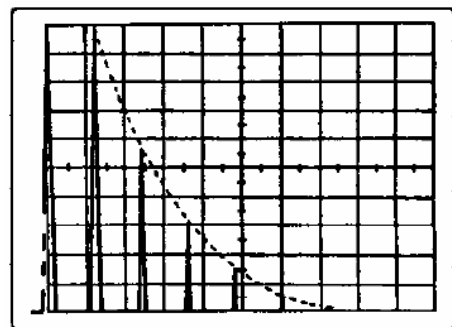
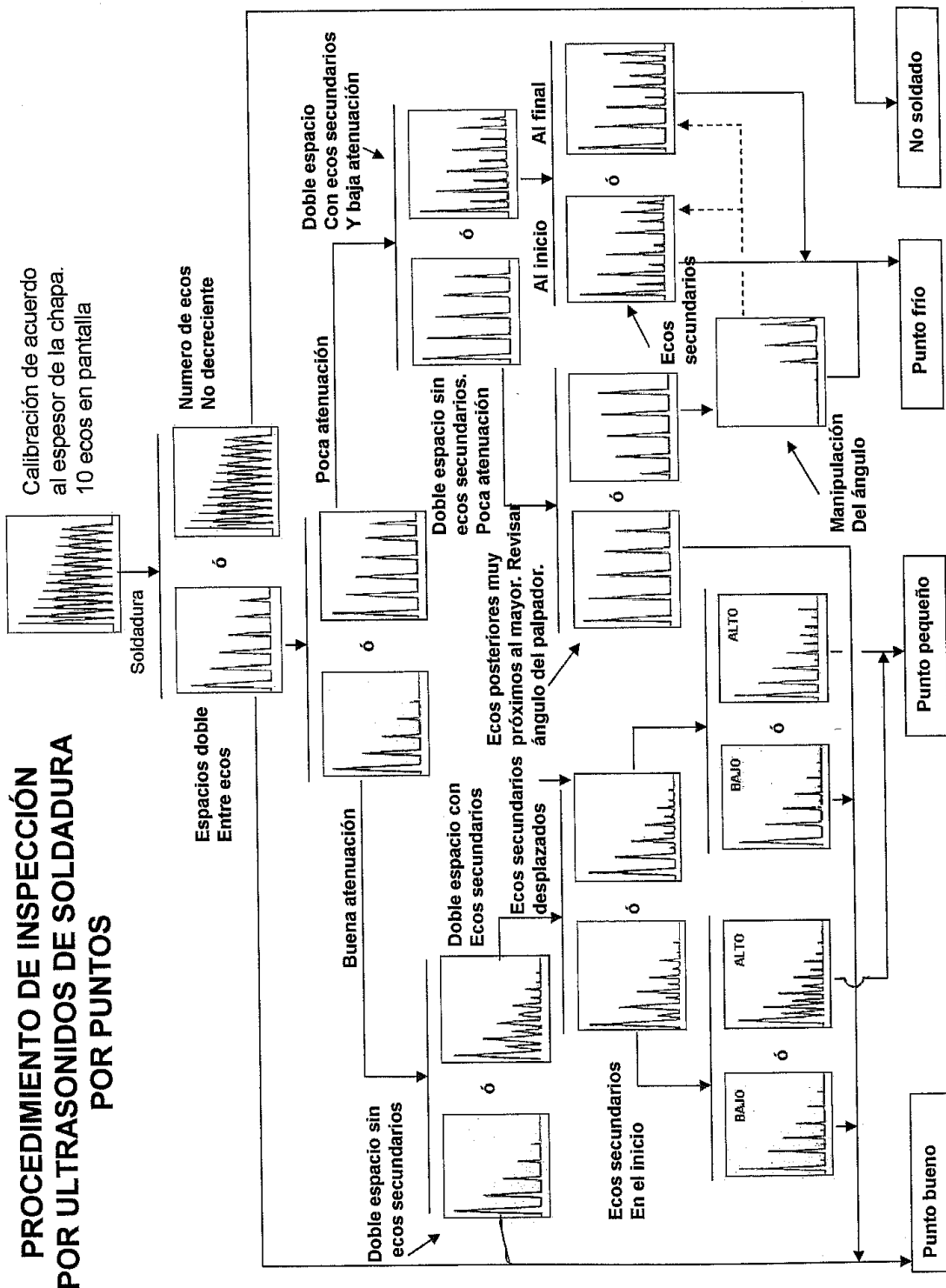


Figura 4.16 Oscilograma con palpador al límite de lenteja (no hay ecos de defecto)

## 4.5 Resumen procedimientos generales de inspección de puntos por ultrasonido





En este capítulo del proyecto el que escribe ha pretendido dar a conocer la aplicación concreta de los ultrasonidos al control de calidad de la soldadura por resistencia. Ahora ya conocemos a que tipo de gráfica obedecen ciertos defectos en la calidad de la soldadura y cual es la manera “teórica” de proceder.

Cabe destacar que, no resulta sencillo llegar a identificar de manera rápida y eficaz la tipología de defectos que hemos explicado sin que el usuario tenga la suficiente experiencia, de hecho, si se quiere validar e incluir este método dentro de un sistema de calidad, es necesaria una homologación por parte de una entidad certificada que acredite que el usuario es capaz de usar la máquina correctamente (de hecho en el apartado de anexos se incluye normativa española sobre la forma y el tipo de examen que es necesario superar). Sin duda este será el siguiente paso de cara a poner en marcha la inspección en KWD por mi parte.

A partir de este momento nos centraremos exclusivamente en la máquina de la que dispone el departamento de calidad de KWD; recordar que la máquina se encuentra en desuso pero totalmente operativa y prueba de ello es la justificación de abordar la realización de este proyecto.



## 5.-Puesta en marcha máquina Scan Master swi-100 UPI 50 spotweld-inspector



Este apartado pretende servir a modo de manual de instrucciones para llevar a cabo una inspección ultrasónica con este equipo específico. La máquina tiene 3 niveles de acceso que son los siguientes:

- *Nivel Operador:* Con este nivel tan sólo es posible realizar test en función de los planes de inspección que se encuentren en la base de datos y sacar reportes del mismo, es decir, no es posible configurar parámetros del transductor, sólo podemos elegir uno u otro en función del diámetro del punto y realizar el correspondiente ensayo. Tampoco podemos modificar parámetros del gráfico que se presenta en pantalla.
- *Nivel Supervisor:* Es el nivel en el cual tenemos todos los permisos para poder configurar parámetros del transductor, elaborar nuevos planes de inspección, sacar reportes, modificar el gráfico de salida en pantalla, etc.
- *Nivel Administrador:* Todos los permisos del supervisor con el añadido de poder generar nuevos usuarios que puedan usar la máquina en modo supervisor u operador.

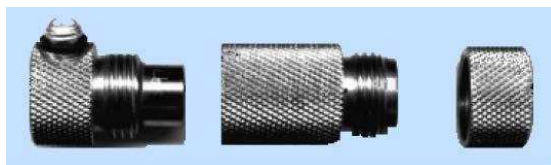
Una vez comentados todos los niveles de acceso posibles, plantearemos el manual de la máquina con un nivel de permiso **Supervisor**, porque como sabemos, es posible tener acceso a todas las configuraciones.

En mi caso partimos de cero, es decir, se desconocen los parámetros reales de uso de los transductores, ni tampoco existe una base de datos con planes de inspección anteriores a mi periodo de estancia en KWD por lo que únicamente dispongo de cierta base teórica expuesta en los anteriores capítulos del proyecto.

Sólo a través del procedimiento experimental podré conocer si en verdad he podido obtener un buen resultado que a posteriori permita realizar inspecciones reales y fiables en las piezas que salen de las células de soldadura.

### 5.1 Puesta en marcha

En primer lugar prepararemos el palpador, elegiremos el que mejor se adapte al diámetro del punto de soldadura. Como sabemos, los palpadores para inspección de soldadura se componen de 3 partes:



1

2

3

- a) Introducir la membrana de látex en 3 y dejarla centrada con ayuda de un puntero.
- b) Roscar la parte 2 y 3 hasta el tope, soplar por la parte trasera de 2 para comprobar que se ha colocado correctamente la membrana, si sale aire recolocarla.
- c) Llenar con agua el conjunto 2 y 3 hasta el borde.
- d) Inclinando el palpador para facilitar la salida de exceso de agua, se roscará la parte 1 sobre el conjunto anterior, conforme vaya entrando, la membrana irá adquiriendo una forma esférica.
- e) Una vez colocado, ponemos el palpador en posición vertical con la membrana hacia arriba y le damos unos golpes a fin de ver si aparecen burbujas de aire en el interior. Si aparecen, volveremos a llenar de nuevo con agua y repetir los pasos c y d anteriores.

Cuando tengamos el palpador correctamente montado y libre de burbujas, lo conectamos al extremo roscado del cable “microdot” y después al terminal XMT de la máquina.

A continuación encenderemos la máquina y en la pantalla de inicio nos identificamos como supervisor y pulsamos en la opción **instrumento** (figura 5.1)

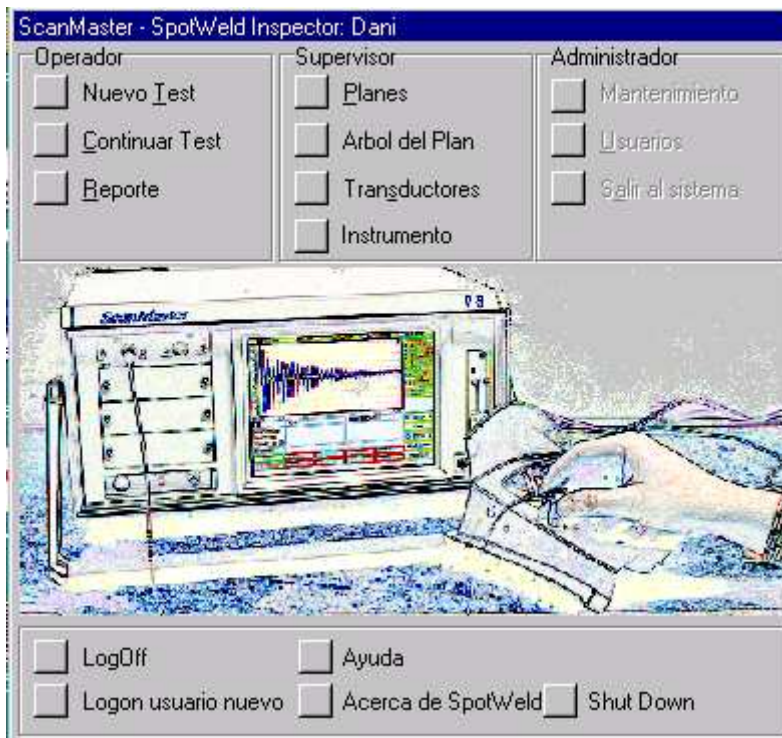


Figura 5.1 Pantalla de inicio

Una vez que pinchamos en instrumento aparecen dos ventanas, una principal que es donde se muestra la señal ultrasónica (A-Scan) ó señal característica en los equipos que funcionan por el método pulso-eco, la otra ventana es la base de datos con los planes de inspección que están almacenados dentro de la máquina (por el momento lo dejamos en un segundo plano puesto que no se dispone de datos ni configuraciones archivadas).

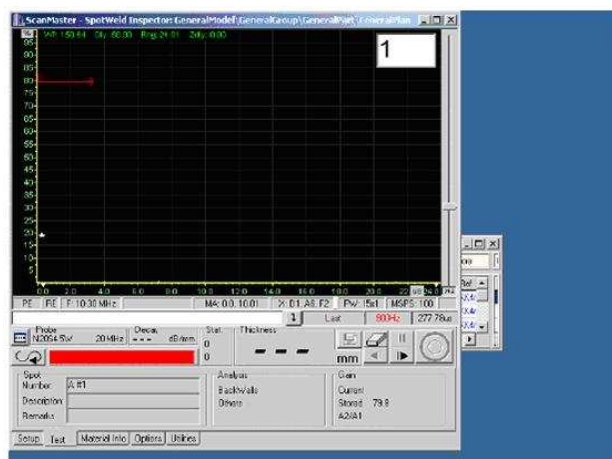


Figura 5.2 Ventana principal

Si maximizamos la primera pantalla, puede apreciarse en la parte inferior que tenemos una zona de botones e iconos.

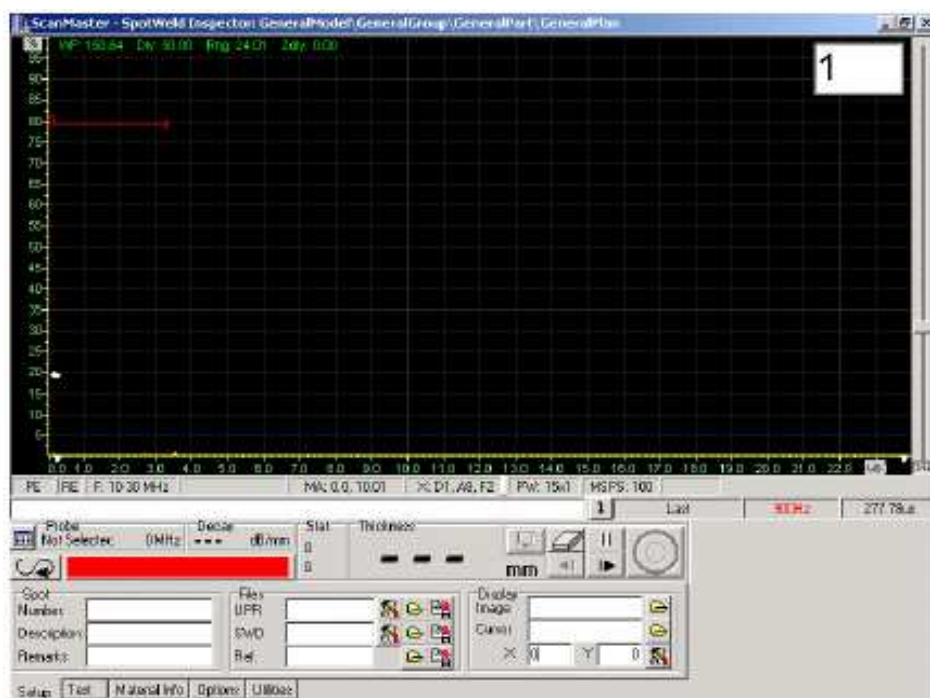


Figura 5.3 pantalla principal



Figura 5.4 Detalle botones e iconos

Pinchando en **Cabezal** se selecciona el transductor adecuado al diámetro de lenteja que se precise.



También vemos una serie de pestañas:

- Setup: Para configurar los parámetros de ultrasonido (UPR) y otros aspectos para la valoración automática (SWD).



Figura 5.5 Pestaña Setup

- Test: Ventana de pruebas.

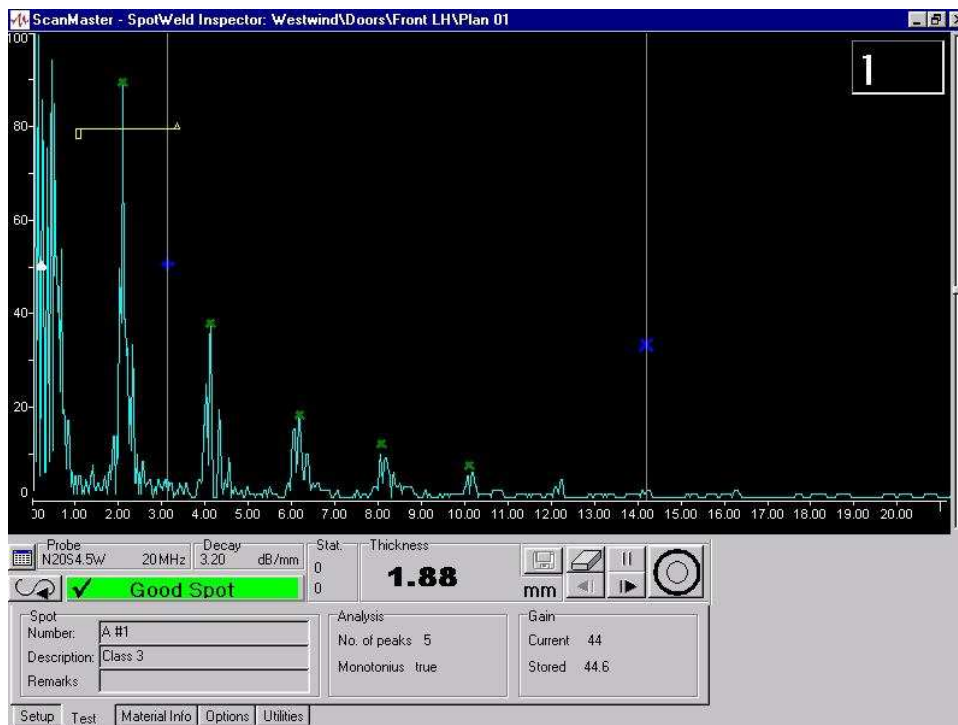


Figura 5.6 Detalle pestaña Test con los marcadores para medida de distancias habilitados



- Información del material: Permite introducir algunos datos acerca de la pieza que vamos a inspeccionar como son el tipo y el grosor de cada chapa, hasta un máximo de 3 chapas. Esta información se incluye después en la base de datos y en los informes que se pueden realizar tras cada inspección.

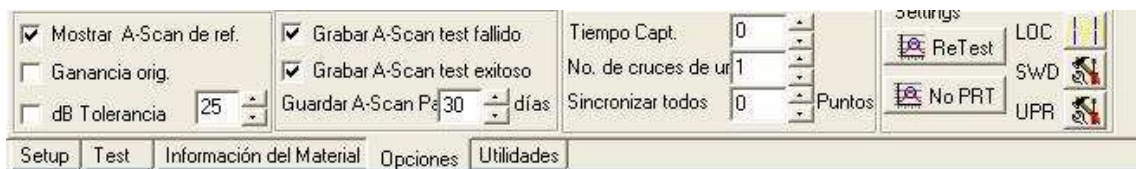


T1	0.8	M1	ZSTE260
T2	1.2	M2	ZSTE420
T3	0	M3	

Setup Test Información del Material Opciones

Figura 5.7 Pestaña Información material

- Opciones: Podemos seleccionar diferentes características de la gráfica A-Scan:



☒ Mostrar A-Scan de ref.    ☒ Grabar A-Scan test fallido    Tiempo Capt. 0  
☐ Ganancia orig.    ☒ Grabar A-Scan test exitoso    No. de cruces de ur 1  
☐ dB Tolerancia 25    Guardar A-Scan Pa 30 días    Sincronizar todos 0    Puntos  
 Settings: ReTest, No PRT, LOC, SWD, UPR

Setup Test Información del Material Opciones Utilidades

Figura 5.8 Detalle pestaña Opciones

- Utilidades: En esta pestaña se pueden habilitar las marcas para determinar espesores y medidas que tengan interés para hacer una valoración del punto como puede ser el grado de atenuación entre ecos. También es un acceso directo a los diferentes tipos de informes que podemos sacar a petición del usuario.

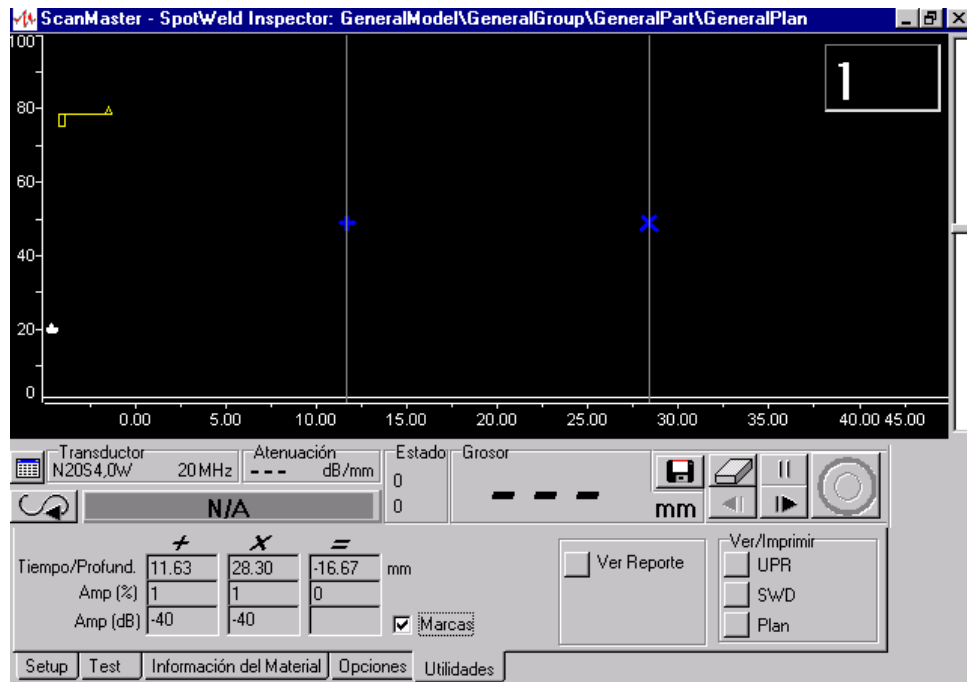



Figura 5.9 Pestaña Utilidades

Empezaremos pinchando en **Setup** para configurar los parámetros de la gráfica



## 5.2 Ajuste de parámetros

### 5.2.1 Configuración de UPR ó parámetros ultrasónicos

Dentro de esta máscara pulsaremos en el botón de **configuración de UPR [Setup → Archivos → UPR → ** ], aparecerá una nueva ventana que esta organizada con diferentes pestañas

Pestaña base de tiempo (Eje horizontal o de abscisas)



Figura 5.10 Pestaña Base de tiempo

**1.- Mando de retardo:** Nos ajusta la gráfica para que el pico de emisión o señal de entrada se sitúe correctamente en la pantalla. Este valor será ligeramente inferior al valor de retardo del transductor (debido a la columna de agua de su interior).

**2.- Rango:** Definimos la regla de la base de tiempos, el valor que introduciremos será aproximadamente unos 10 ó 15 veces el espesor total de la muestra a inspeccionar (grosor de las dos chapas).

**3.- Offset:** Nos ajusta el inicio de la base de tiempos, el cero.

**4.- SF (Surface Follower):** Activando esta casilla conseguimos que el eco de emisión se sitúe siempre a la izquierda de la pantalla, aproximándose al inicio de la base de tiempos. En el campo numérico se introduce un valor que ajusta la altura de la señal de entrada en función del comportamiento del transductor, estos valores se mueven entre 20 y 80 para la inspección de puntos.

**5.- MSPS (megasamples per second):** Establece la frecuencia de muestreo para digitalización de la forma de onda analógica. Este valor siempre lo dejaremos en 100 (MSPS). En los siguientes campos se introduce el tipo de material a inspeccionar, la velocidad de propagación del material y las unidades de medida (mm, pulgadas, etc).

## Pestaña pulsador



Figura 5.11 Pestaña Pulsador

En esta pestaña se configuran parámetros relacionados con el emisor del palpador o cabezal.

**1.- Selector “Pulse Amp”:** Nos establece la amplitud de la señal de entrada. Se fija de manera que se aprecie un pico pronunciado y claro en la pantalla, para ello poner el selector en posición 6; es el valor apropiado para transductores de retardo de columna de agua.

**2.- Selector “Damping”:** Ajuste del factor de amortiguamiento del cristal piezoeléctrico. Para nuestros transductores, siempre en posición 2.

**3.- Ancho de pulso:** Establecemos la frecuencia de emisión del palpador en Mhz o su equivalente en ns. en función del tipo de cabezal: Si es tipo “pulso-eco” como es el nuestro (seleccionamos  $\frac{\lambda}{2}$ ) ó tipo “inmersión” (selección  $\frac{\lambda}{4}$ ).

### Pestaña ganancia

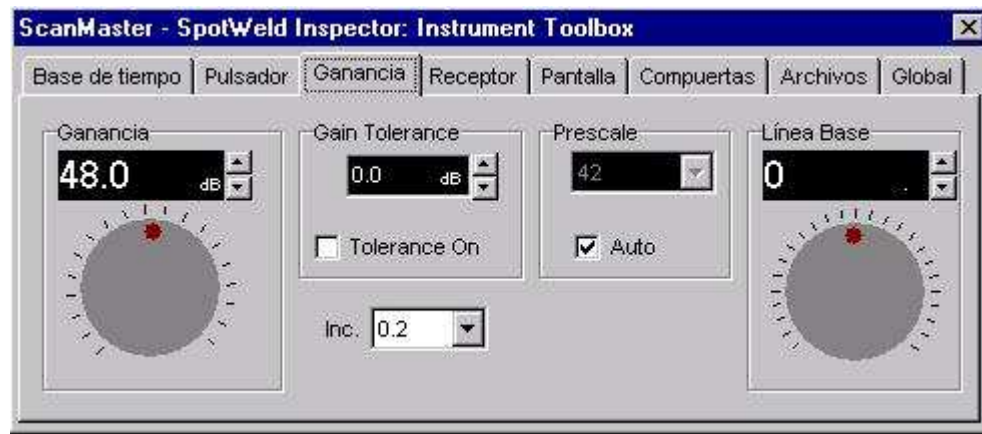


Figura 5.12 Pestaña Ganancia

Aquí marcamos la intensidad de la señal. Se debe de ajustar de manera que obtengamos una señal clara, evitando por otra parte una alta intensificación ya que dificultamos la optimización del gráfico. A mayor intensidad, mayor nivel de ruido y por consiguiente tenemos mayor dificultad para distinguir los ecos de fallos del resto de interferencias (ruido). Se aconseja entonces movernos en niveles de entre 35 y 50 dB, aunque dependerá siempre de las condiciones en el momento de la inspección.

**1.- Mando de ganancia:** Modificamos el nivel de intensidad de la señal.

**2.- Gain Tolerance:** Activamos o desactivamos cierta tolerancia

**3.- Prescale:** Si se activa “auto” establecemos una ganancia estándar en función del valor que hayamos introducido en el campo numérico (por defecto 42dB)

**4.- Línea base:** Con ello ajustamos la altura de la línea del gráfico con respecto al origen de ordenadas.

### Pestaña receptor

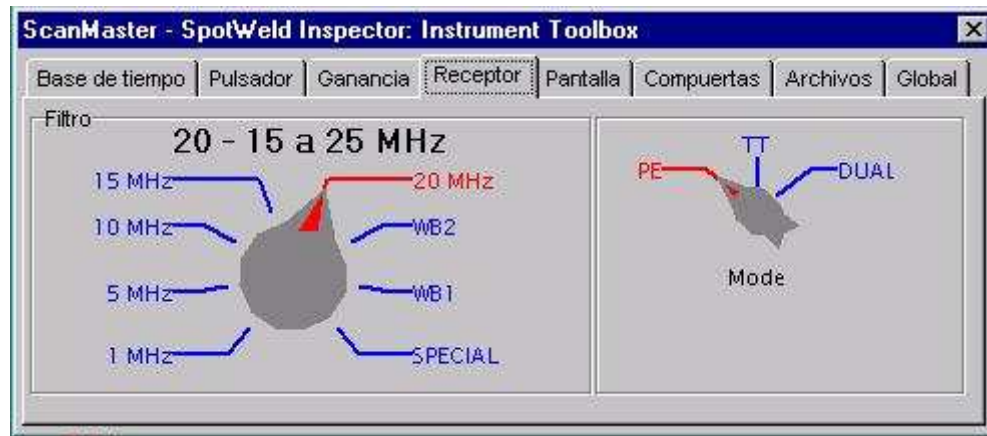


Figura 5.13 Pestaña Receptor

**1.- Selector “filtro”:** Nos permite ajustar electrónicamente la frecuencia de trabajo de los transductores que estemos empleando. En nuestro caso seleccionar la posición 10-30 Mhz, porque como sabemos, los que tenemos en KWD son de 20 Mhz

**2.- Selector “Mode”:** Con esto definimos la función del cabezal. En nuestro caso seleccionamos el PE (Pulse- echo). El resto de funciones serviría para otro tipo de verificaciones que se pueden hacer con los ultrasonidos.

### Pestaña Pantalla



Figura 5.14 Pestaña Pantalla

Dentro de esta pestaña podemos modificar la forma de onda y el color de la gráfica.

**1.- Forma de onda:** Varias posibilidades.

- a) RF: Nos muestra en pantalla la amplitud total de la señal de entrada así como el resto de ecos de fondo y secundarios que pudieran aparecer.
- b) NEG: Nos rectifica la señal mostrando sólo la parte negativa.
- c) POS: Nos rectifica la señal mostrando sólo la parte positiva
- d) **ABS:** Nos rectifica la señal en valor absoluto, es como hemos aprendido a interpretar las señales para cada tipo de defecto.

**2.- Modo de visualización:** Si queremos o no que la máquina capture la señal y modo de salida de gráfico (línea ó relleno, marcas auxiliares)

**3.- Colores:** Tonos de presentación de las gráficas.

Pestaña Compuertas



Figura 5.15 Pestaña Compuertas

Las compuertas son las marcas que podemos establecer como referencias para que la máquina pueda en un momento dado congelar la imagen y ayudarnos de esta forma a interpretar la señal obtenida. Sólo es posible actuar sobre las compuertas en modo “supervisor”

**1.- Mando “Retardocomp”:** Con ello regulamos la distancia de la compuerta al eje de ordenadas. El valor que se introduce siempre es el de la **chapa más fina**, de este modo nunca aparecerían errores antes del retardo, pues, no puede haber errores antes del primer eco de fondo. Siempre ajustamos el retardo de modo que el primer eco de fondo pueda sobrepasar la compuerta y se pueda congelar la imagen.

**2.- Mando “Rangocomp”:** Se trata de la anchura de la compuerta, esta será aproximadamente el grosor total de ambas piezas ó dicho de otra forma, tiene que tener la anchura de dos ecos de retorno consecutivos.

**3.- Mando “Nivelcomp”:** Altura de la compuerta con respecto a la base de tiempos. Se sitúa en torno al 80% de la altura total que tengamos y nos define el porcentaje de la pantalla que debe de alcanzar el primer eco de fondo para que se congele la imagen y poder obtener una buena visión del gráfico



### Pestaña Archivos



Figura 5.16 Pestaña Archivos

Nos permite cargar parámetros ó configuraciones UPR archivados en bases de datos que pudiese tener la máquina en memoria. También podremos guardar desde aquí una nueva configuración e incluso imprimir reportes con las configuraciones que hayamos introducido previamente.

Otra forma de salvar ó cargar configuraciones UPR es haciendo uso de los botones de la pestaña Setup en la pantalla principal:

- Cargar parámetros UPR [Setup → Archivos → UPR →  ]
- Salvar parámetros UPR [Setup → Archivos → UPR →  ]

### 5.2.2 Configuración para la valoración automática de la señal (SWD settings)

A través de la pantalla principal tendremos acceso pulsando el botón **configuración de SWD** [Setup → Archivos → SWD →  ].

Nos aparecerá la siguiente ventana:



Figura 5.17 Pestaña Configuración SWD

#### Umbral de ruido

Valor por debajo del cual la máquina desestima como eco de defecto cualquier señal. Se fija en torno a un 10% de la altura total de pantalla

#### Umbral válido

Valor por encima del cual la máquina considera ecos de fondo y ecos secundarios para realizar una valoración del punto. Se fija en torno a 15-20 %

#### Cantidad mínima y máxima de ecos

Número de ecos de fondo que pueden aparecer en pantalla como mínimo y como máximo para que se considere un punto válido. Variará en función del grosor de las chapas. Por encima de la cantidad máxima tendríamos un punto pegado, y por debajo un punto quemado.



### Grosor mínimo

Estableceremos como mínimo grosor para considerar el punto bueno el 75% del espesor total de las chapas

### Grosor máximo

Como valor máximo introduciremos aproximadamente el espesor total – 0,2mm.



### Atenuación mínima

Valor por debajo del cual el punto no se considera bueno. Valores de atenuación de ecos de fondo más pequeños, hace que el punto sea considerado como pegado.

### Radio de tolerancia

Es el área de exclusión antes y después de cada pico de eco de fondo, esa zona no se considera en el análisis. El valor que suele tener es de un 10% a un 20% del grosor total de las 2 chapas a soldar. Como punto de partida consideraremos un 15%, so hay parte de los ecos de fondo que se marcan como ecos secundarios, aumentaremos el radio de tolerancia hasta optimizar el gráfico.

Al igual que con la configuración UPR, otra forma de salvar ó cargar configuraciones SWD es haciendo uso de los botones de la pestaña Setup en la pantalla principal:

- Cargar parámetros SWD [Setup → Archivos → SWD →  ]
- Salvar parámetros SWD [Setup → Archivos → SWD →  ]

### 5.2.3 Otras opciones



Figura 5.18 Detalle Identificación puntos, opciones Pantalla y Cursor

Aunque las funciones que se explican a continuación no son esenciales para plantear una correcta inspección, si creo que son de gran utilidad sobre todo de cara a realizar planes completos sobre piezas que presenten gran cantidad de puntos, pues nos facilita enormemente la identificación de los mismos:

## Punto

Dentro de la pestaña Setup, disponemos de 3 campos para incluir la nomenclatura de cada punto, una breve descripción del mismo y cualquier comentario que sea de relevancia.

## Pantalla

Podemos incluir una identificación visual de la pieza y cursores para ayudarnos a distinguir fácilmente los puntos. Con los campos X e Y ajustaremos su posición dentro de la ventana principal

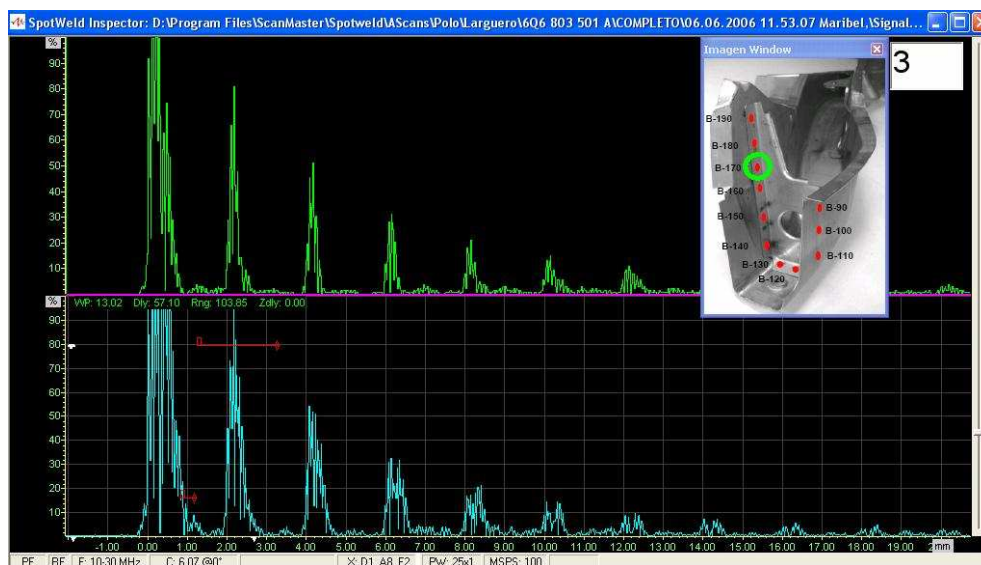



Figura 5.19 Detalle ventana imagen de identificación de puntos sobre pieza real

## 5.3 Obtención de una señal

Tras establecer las configuraciones UPR y SWD empezaremos lo que viene siendo la propia inspección aplicando el transductor en el punto. Si pulsamos  entonces podemos congelar la señal que estemos obteniendo. De forma alternativa, podemos capturar la señal automáticamente situándonos en la pestaña test, en este modo, si las compuertas están bien definidas la señal se congelará.

Si consideramos que la señal es buena, entonces podemos guardarla como referencia de señal correcta para ese punto pinchando en

[Setup → Archivos → Ref →  ]



## **6.-Validación del uso de la máquina Scan Master swi-100 UPI 50 spotweld-inspector en KWD España S.A.U.**

---

### **6.1 Resumen**

El presente apartado trata de comprobar la operatividad de la máquina de inspección de puntos de soldadura ScanMaster swi-100 UPI 50 spotweld inspector, la cual está disponible en las instalaciones de KWD España S.A.U.

Para tal fin se realiza una batería de probetas de dimensiones normalizadas en las cuales se reproduce la defectología que con la máquina somos capaces de pronosticar a través del método impulso-eco.

La práctica consiste entonces en encontrar un oscilograma tipo que indique el defecto que presente la probeta en cada caso.

Posteriormente, con el propósito de validar y evidenciar que la experiencia anterior se ha hecho de manera correcta se someten las probetas a ensayo de tracción con cizalladura, ensayo de desbotonadura y ensayo metalográfico de acuerdo a la normativa interna de VW 01155 y procedimiento PV 6702. ambos documentos vigentes y de obligado cumplimiento para el grupo automovilístico VW y sus proveedores.

### **6.2 Introducción**

En el mundo de la automoción está ampliamente extendido el uso de la soldadura por resistencia por puntos como principal sistema de montaje de la carrocería que pudiendo contener entre 2000 y 5000 puntos. La necesidad de realizar de una manera rápida, precisa, fiable y al menor costo posible tal cantidad de puntos, ha llevado a la automatización y robotización de este sector.

El procedimiento habitual para el control de la calidad de estas uniones soldadas, en combinación con otros, consiste en introducir una herramienta de cuña entre las dos chapas (ensayo de desbotonadura) y aplicar una fuerza para separarlas con objeto de determinar las características de la lenteja originada por el metal fundido. Este método presenta el gran inconveniente de tener un carácter destructivo lo que hace que se limite su aplicación al simple muestreo además debe de ir en paralelo y no en serie con el sistema productivo. Por este motivo, la elección de un método de ensayo como es la técnica de ultrasonidos (método no destructivo) esta justificada presentando unas posibilidades muy interesantes y permitiendo la inspección de hasta un 100% de la producción.

Se ha establecido entonces 4 niveles principales de calidad: Punto bueno, punto pequeño, punto pegado, punto quemado.



### 6.3 Objetivo

Se propone como objetivo, el establecimiento de un oscilograma tipo asociado a la calidad real del punto de soldadura con una buena correlación entre ellos. Su validación se realiza mediante ensayos de carácter destructivo, son tres:

- Ensayo de tracción con cizalladura: Su finalidad es la comprobación de la resistencia mecánica de la unión en función de la calidad asignada.
- Ensayo de desbotonadura: Tiene el objeto de comprobar visualmente el grado de soldabilidad obtenido en cada probeta midiendo directamente mediante calibre digital el Ø de lenteja
- Micrografía: Visualización de la estructura de grano interna de cada punto ensayado así como también de la zona afectada térmicamente.

### 6.4 Equipamiento.

Para la elaboración del presente trabajo, hemos hecho uso de los siguientes equipos:

#### Equipo de soldadura por resistencia

Se utiliza una pinza industrial manual de refrigeración por agua Marca ARO XM con accionamiento neumático y regulación de amperaje y de tiempo de paso de la corriente eléctrica de soldadura. El agua de refrigeración se toma de la instalación hidráulica general para todas las células.

#### Equipo de inspección ultrasónica

El equipo que se ha utilizado es un generador de ondas ultrasónicas modelo Scanmaster modelo swi-100 UPI 50 spotweld-inspector. (Véase características técnicas en apartado anexos.)

#### Palpadores

El tipo de palpador usado es específico para inspecciones de puntos de soldadura, es de retardo por columna de agua. La elección del diámetro del cristal piezoeléctrico se realizó atendiendo al diámetro mínimo requerido en función del espesor del material (VW 01155):

Espesor mínimo probetas ( $d_1$ ) = 1,5mm.

Ø palpador =  $1,15 * 3,5 \times \sqrt{1,5} = 4,92 \text{ mm}$ .

Si utilizamos la fórmula aconsejada por el fabricante, tenemos que:

$$\varnothing \text{ palpador} = 4x\sqrt{d_1} = 4x\sqrt{1,5} = 4,89 \text{ mm.}$$

Atendiendo a los resultados, el palpador escogido es el denominado N20 S5,0W-SN5104 cuyo  $\varnothing$  cristal = 5mm. (Véase fotografías adjuntas)



Figura 6.1 Modelo de transductor seleccionado

### Máquina ensayos de tracción

La máquina de ensayos SERVOSIS ME402/5 (figura 6.2), capaz de aplicar cargas axiales de hasta 50KN se utilizó para realizar el ensayo de tracción con cizallamiento destinado a validar mecánicamente la clasificación de los puntos de soldadura.

### Otros instrumentos

- Microscopio digital MOTIC DM- 143
- Máquina de empastillado para metalografías REMET Ipa 30

## 6.5 Caracterización del acero de las probetas

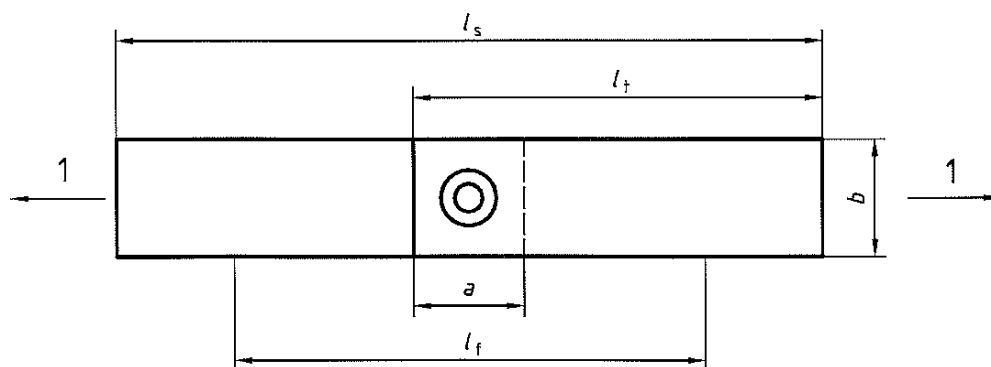
El material de las probetas utilizadas para la clasificación de los defectos es el mismo con el que se fabrica la pieza túnel en KWD, se trata de chapa galvanizada en caliente de alto límite elástico tipo (hot-dip zinc coating) **DX53D + Z100** laminada en frío (véase Informe de sustancias de conjuntos y materiales en apartado anexos.)

Las propiedades mecánicas que presentan son:

- Límite elástico: 120-180 Mpa
- Resistencia a tracción: 140-260 Mpa
- % mínimo alargamiento a rotura: 39%

## 6.6 Procedimiento experimental

Se realizaron unos 40 puntos de soldadura en total, para que el tamaño de la muestra fuera suficiente y se pudiera seleccionar entre ellos, los puntos buenos, puntos pequeños, puntos pegados y puntos quemados. Estas probetas tienen aproximadamente las dimensiones contempladas para el ensayo de tracción con cizalladura UNE 14273:2002 (espesor entre 1,5 y 3mm) y se obtuvieron por corte a radial de una de las piezas que se utilizan como materia prima en la fabricación del túnel, como se ha citado anteriormente.



Espesor $t$	Desbordamiento $a$	Anchura de la probeta $b$	Longitud de la probeta $l_s$	Longitud libre entre mordazas $l_f$	Longitud de los cupones individuales de ensayo $l_t$
$0,5 \leq t \leq 1,5$	35	45 (30)	175	95	105
$1,5 < t \leq 3$	46	60 (30)	230	105	138
$3 < t \leq 5$	60	90 (55)	260	120	160
$5 < t \leq 7,5$	80	120 (80)	300	140	190
$7,5 < t \leq 10$	100	150 (100)	320	160	210

<sup>a</sup> Las cifras entre paréntesis ofrecerán aproximadamente una reducción de la fuerza del 10% y estas anchuras pueden usarse sólo si así lo acuerdan el fabricante y el cliente.

Para poder obtener estos niveles de calidad se controlaron las siguientes variables operativas:

1. Tipo de electrodo (definido por la aleación base cobre de que está fabricado), se trata de cap modelo B-20 (aleación de Cobre, Cromo y Zirconio) apropiado para chapa galvanizada de 1,5mm de espesor.



Figura 6.2

2. Presión de los electrodos asegurando una fuerza constante en puntas
3. Intensidad de corriente. Los valores amperimétricos de intensidad usados oscilan entre los 6 y los 13 kA a una frecuencia normal de red de 50Hz. Por lo que un ciclo o periodo equivale a 0,02 segundos.
4. Tiempo de soldadura principal. Corresponde al tiempo durante el cual circula la corriente de soldadura.
5. Tiempo previo de apriete. Tiempo que transcurre desde el pisado de los electrodos hasta el inicio de la corriente de soldadura.
6. Tiempo de forja. Tiempos de mantenimiento de la presión después de que cese el paso de corriente.
7. Caudal de agua del circuito de refrigeración. Se obtiene una lectura de 12,5 l/min. que se mantiene estable durante todas las pruebas.

Para a la obtención de la defectología deseada o los niveles de calidad, en este trabajo se decidió únicamente **actuar variando la intensidad de corriente** de paso principal y manteniendo fijas el resto de las variables. Debido a los siguientes motivos:

- El tipo de electrodo es el adecuado para la realización de puntos de soldadura en chapas de 1,5mm. de espesor.
- La presión de los electrodos se ha mantenido con un valor fijo porque es una de las variables de entrada en las pinzas de soldadura. Esto significa que si no conseguimos una determinada presión; el control no abre el paso de corriente hacia los electrodos.
- A no ser que el departamento de calidad estime que es necesario, y teniendo en cuenta las exigencias de producción, teóricamente no se puede modificar el tiempo de soldadura ya que influye directamente en el tiempo de ciclo de las máquinas.





En cuanto a las probetas realizadas, se seleccionaron 4 grupos de probetas con 4 niveles de calidad, cada grupo estaba formado por 4 probetas realizadas con los mismos parámetros o valores. El motivo de tener 4 probetas en cada grupo fue el siguiente:

- Obtener con una de ellas el oscilograma tipo asociado al defecto y después realizar su correspondiente desbotonadura.
- La segunda muestra se hizo para someterla a ensayo metalográfico que permitiese comprobar su grado de fusión y su estructura interna al microscopio.
- La tercera muestra que obtuvimos se usó para determinar aproximadamente la carga máxima axial que puede soportar.
- Finalmente la cuarta muestra se reservó en caso de tener que repetir alguna prueba.



## 6.7 Resultados y análisis

### Grupo de probetas I.1: Soldadura OK

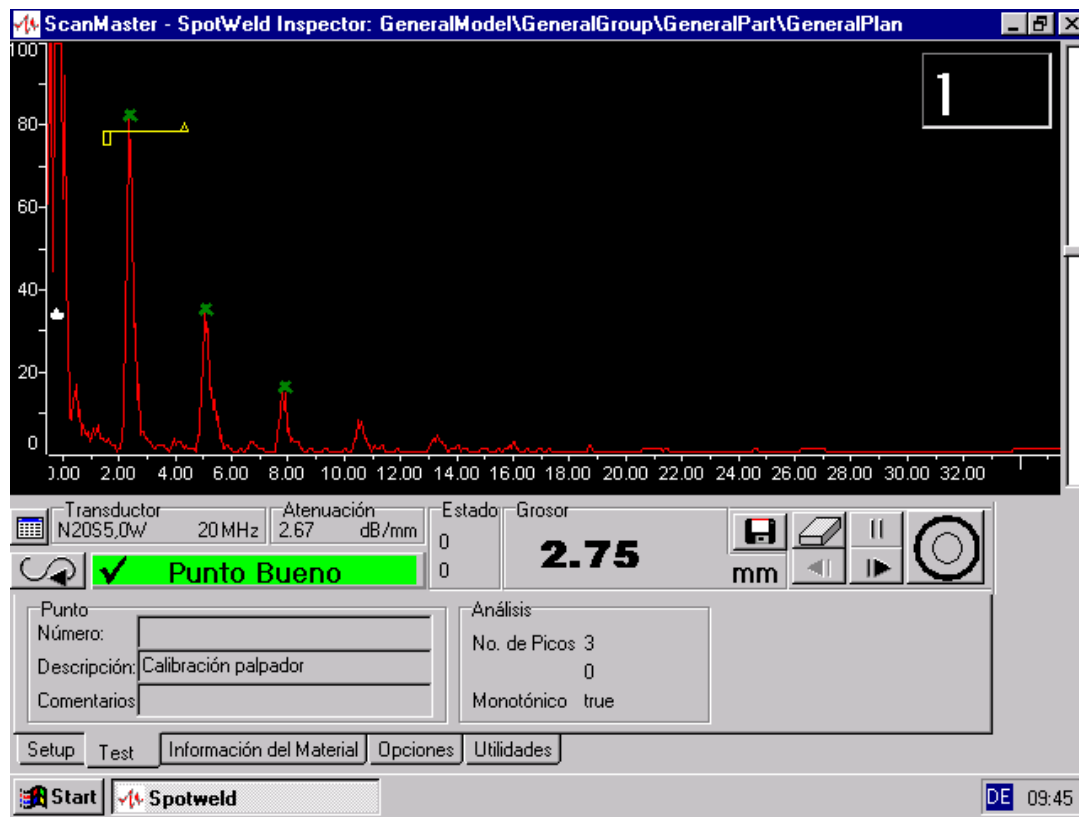
*Parámetros utilizados:*

Fuerza electrodos (KN)	<b>1,5 KN</b>
Intensidad Corriente (kA) / nº impulsos	<b>9kA / 1</b>
Tiempo previo (periodos)	<b>20</b>
Tiempo de paso (periodos)	<b>18</b>
Tiempo de forja (periodos)	<b>20</b>

*Aspecto visual:*



Gráfico obtenido:



- **Atenuación:** Se aprecia un valor de atenuación alto (2,67dB/mm.) y la caída que se produce entre el primer y el segundo eco de fondo es de un 53% aproximadamente lo que significa que ha habido una buena penetración en la soldadura, esta al producirse, hace que el tamaño de grano en esa zona aumente con respecto a una zona no soldada. Recordemos que ha mayor tamaño de grano, mayor atenuación.
- **Separación entre ecos sucesivos:** Está dentro del rango aceptable, su valor es de 2,75mm. algo inferior al tamaño total de la muestra.
- **Presencia ecos intermedios de defecto:** No se han obtenidos ecos de defecto, lo que significa que el diámetro de la lenteja obtenida es correcto, se comprueba con la desbotonadura.



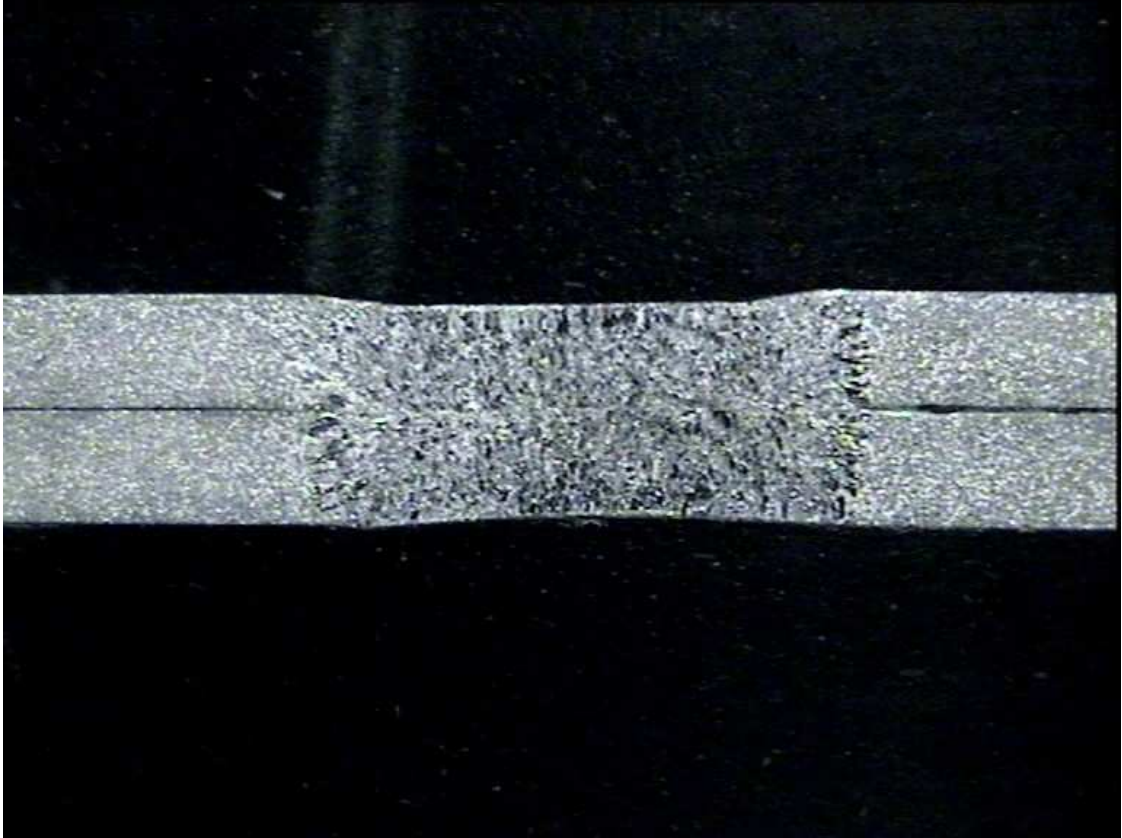
*Ensayo desbotonadura:*

Medición Ø lenteja (dp) por desbotonadura:

$$d_p = \frac{d_1 + d_2}{2} = \frac{7,33 + 7,22}{2} = 7,275mm. > 4,92 \text{ luego OK}$$

*Ensayo metalográfico:*

- Ataque con Nital al 4%.



En la micrografía del punto OK se observa que ha habido una buena fisión entre las dos chapas ya que ha habido un cambio apreciable en la microestructura, pues se ha visto incrementado el tamaño de grano después del proceso de calentamiento. En cuanto a la indentación o huella de soldadura, vemos que en la zona superior es más uniforme o al menos hemos tenido algo más de deformación de material.



*Ensayo de tracción con cizalladura:*

- Velocidad de ensayo: 0,16mm/s
- Carga máxima soportada a rotura: 872 Kgf = **8554 N**

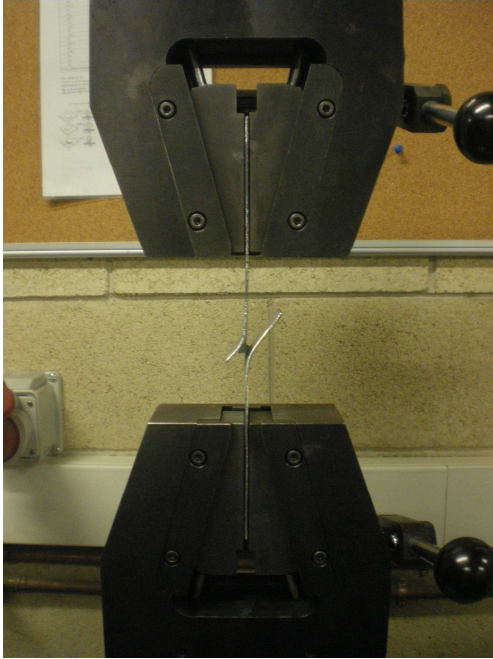


Figura 6.3 y 6.4 Detalle estado final de probeta punto ok tras ensayo de tracción





## Grupo de probetas I.2: Lenteja pequeña

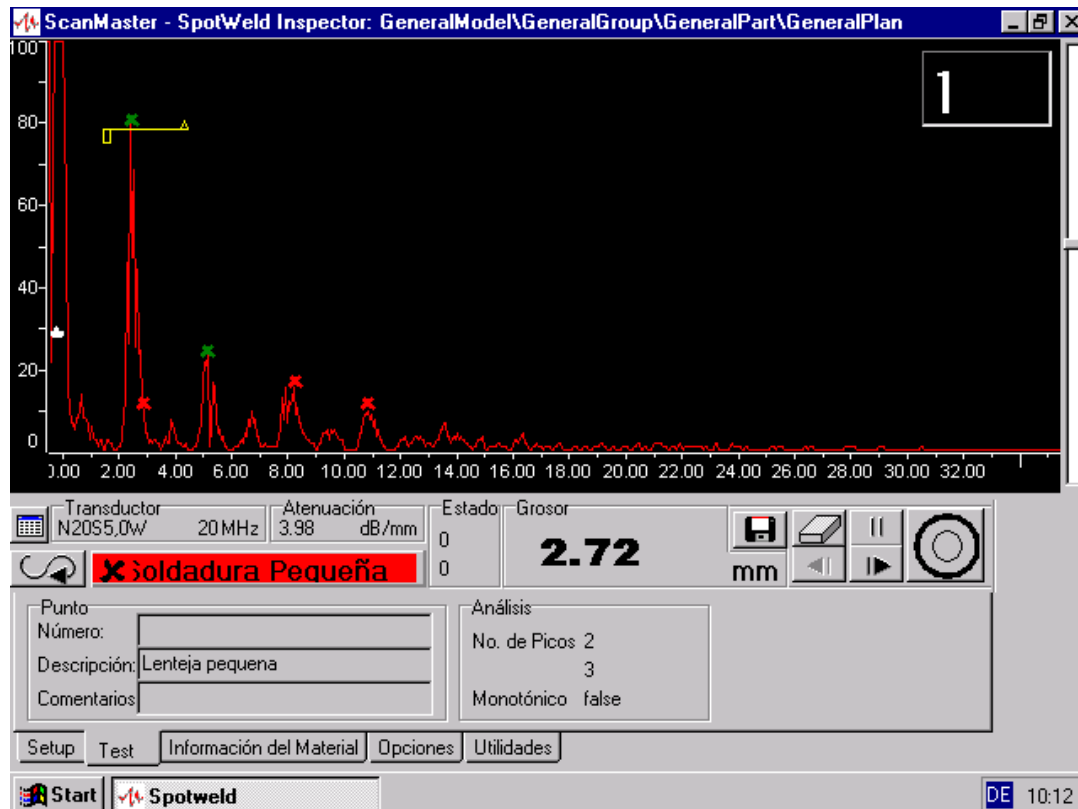
*Parámetros utilizados:*

Fuerza electrodos (KN)	<b>1,5 KN</b>
Intensidad Corriente (kA) / nº impulsos	<b>6 kA / 1</b>
Tiempo previo (periodos)	<b>20</b>
Tiempo de paso (periodos)	<b>18</b>
Tiempo de forja (periodos)	<b>20</b>

*Aspecto visual:*



Grafico obtenido:



- **Atenuación:** La atenuación que presenta es muy alta (3,98dB/mm.) y es indicio de que ha habido una buena penetración, la caída de eco es de un 65% ello explica que únicamente haya aparecido 2 ecos de fondo significativos.
- **Separación entre ecos sucesivos:** La gráfica muestra una distancia entre ecos válidos de 2,72mm. pero no se puede garantizar un buen grosor de lenteja a nivel general.
- **Presencia ecos intermedios de defecto:** Aparecen 3 ecos intermedios que superan el 11% de altura de pantalla, es decir el límite que se ha fijado para considerar ecos secundarios como ecos de defecto, significa que el diámetro de la lenteja es inferior al correcto. Además tienen la típica forma en sombrero de napoleón.



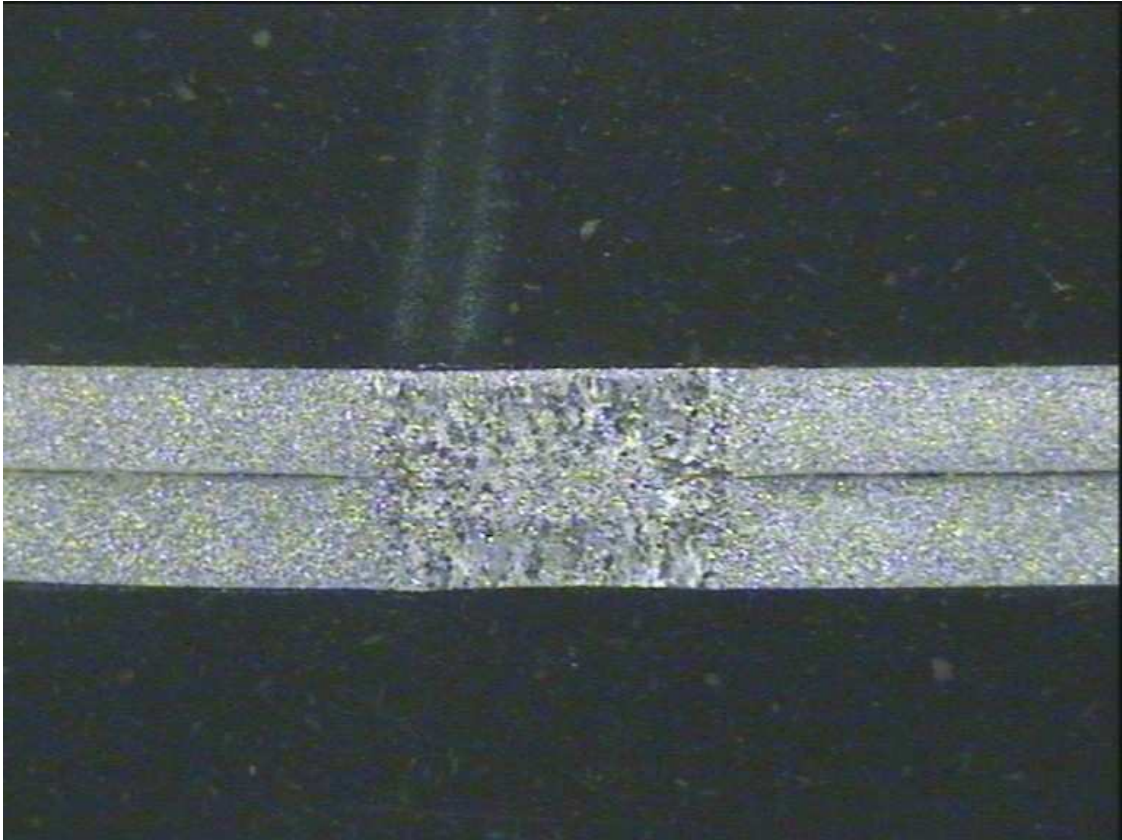
*Ensayo desbotonadura*

Medición Ø lenteja (dp) por desbotonadura:

$$d_p = \frac{d_1 + d_2}{2} = \frac{3,30 + 2,83}{2} = 3,065mm. < 4,89 \text{ luego no OK}$$

*Ensayo metalográfico:*

- Ataque con Nital al 4%.



La micrografía de punto pequeño, se aprecia claramente que la zona de fusión es más estrecha en el punto ok, además el espesor de la lenteja es mucho menor, así como su diámetro. Se puede apreciar mejor las 3 zonas afectadas térmicamente y típicas de la soldadura por puntos; material base, una zona afectada térmicamente y la lenteja en cuestión formada por material de las dos chapas.

En cuanto a la huella de soldadura, está es casi inexistente, lo que denota que la intensidad de corriente en combinación con la presión de los electrodos, no ha generado la resistencia necesaria para reblandecer la zona y generar una buena indentación.



*Ensayo de tracción con cizalladura:*

- Velocidad de ensayo: 0,16mm/s
- Carga máxima soportada a rotura: 540 Kgf = **5297 N**

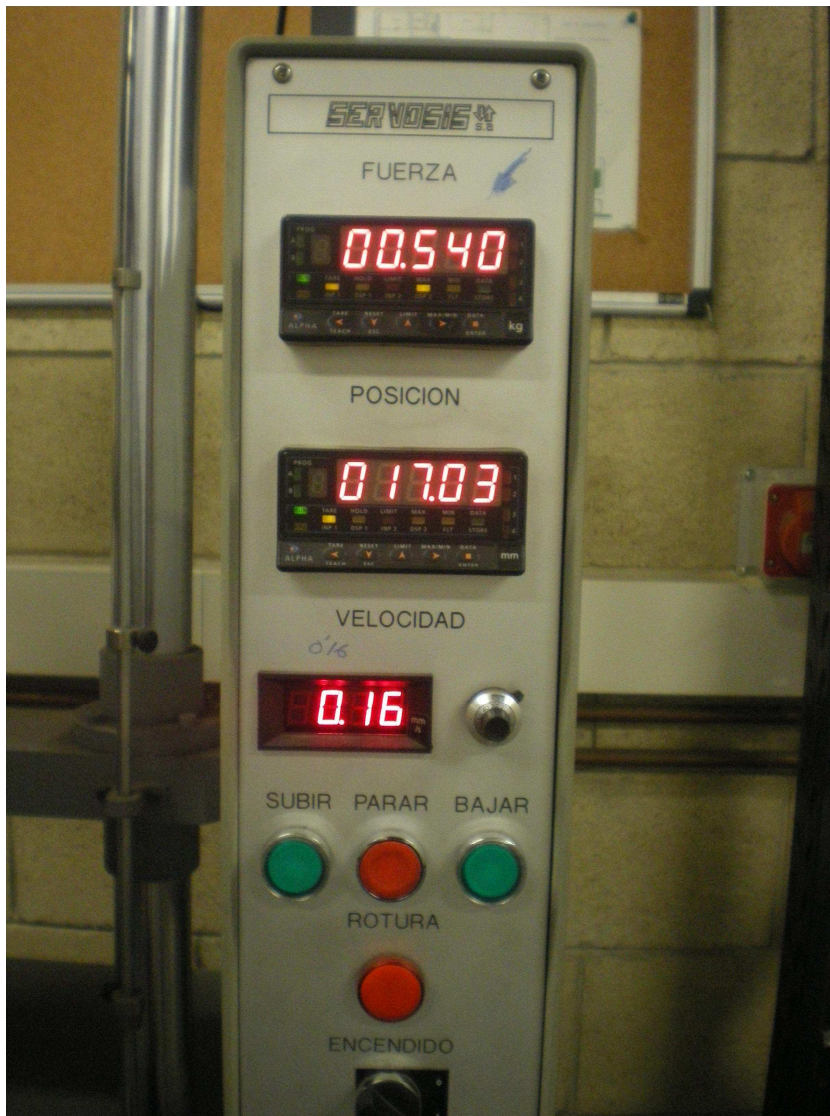


Figura 6.5 Detalle displays de fuerza (kgf), posición (mm.) y velocidad (mm/s)



### Grupo de probetas I.3: Punto pegado (Cladding)

*Parámetros utilizados:*

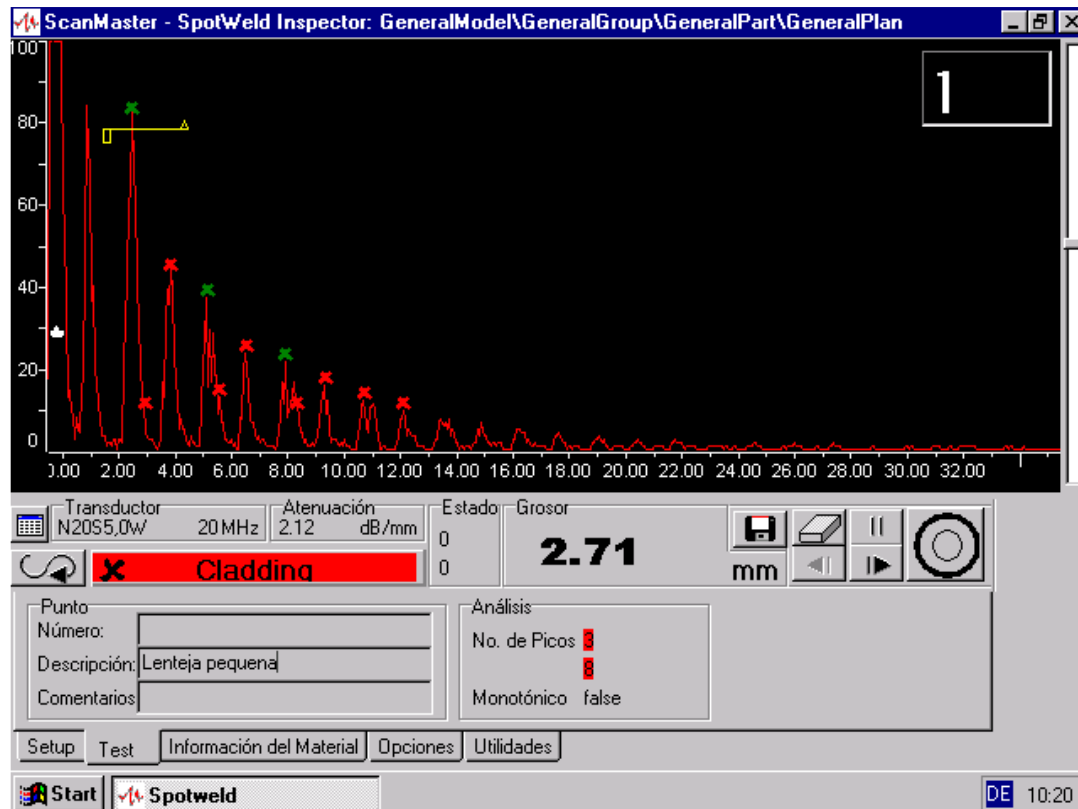
Fuerza electrodos (KN)	<b>1,5 KN</b>
Intensidad Corriente (kA) / nº impulsos	<b>5,5kA / 1</b>
Tiempo previo (periodos)	<b>20</b>
Tiempo de paso (periodos)	<b>18</b>
Tiempo de forja (periodos)	<b>20</b>



*Aspecto visual:*



Grafico obtenido:



- **Atenuación:** Se aprecia un valor de (2,12 dB/mm.) Cifra que se considera insuficiente como para dar por válido un punto, significa que el tamaño de grano no es muy grande y atenúa muy poco el sonido. No ha habido un calentamiento de la zona fusionada que provoque el crecimiento de grano.
- **Separación entre ecos sucesivos:** La gráfica muestra un grosor de 2,71mm. para los ecos de fondo (ecos verdes).
- **Presencia ecos intermedios de defecto:** Entre ecos de fondo aparecen un buen número ecos secundarios que muestran la señal típica de un punto con poca fusión, además se da la característica de que aparece otra serie de ecos secundarios similares al de una lenteja pequeña, estamos entonces ante un caso de punto pegado pero con algo de formación de lenteja.

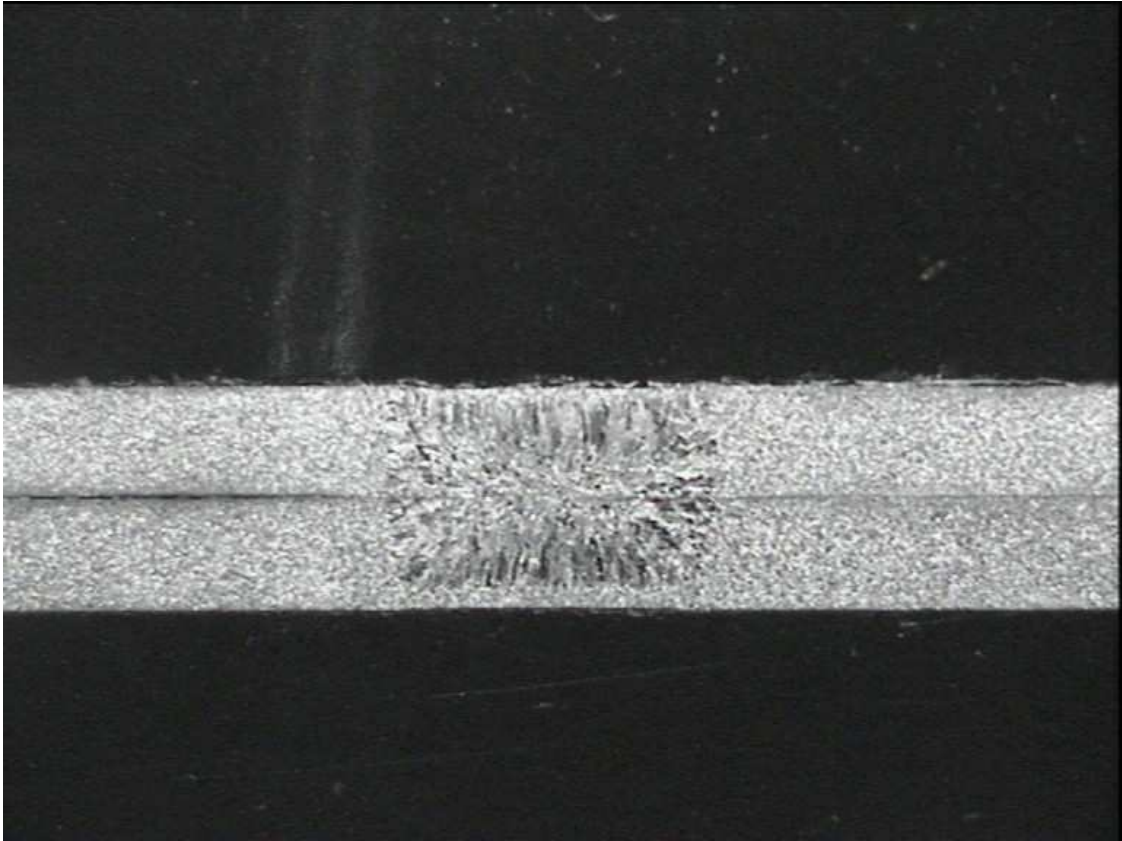


*Ensayo desbotonadura:*

Medición  $\emptyset$  lenteja (dp) por desbotonadura: NO hay formación de lenteja

*Ensayo metalográfico:*

- Ataque con Nital al 4%.



En este caso el nivel de energía transmitido es muy baja y la generación de calor que hemos provocado en la zona tan sólo ha hecho que se funda el zinc de recubrimiento y algo de material base. La línea de separación de las dos chapas es prácticamente continua en toda la sección vista por lo que el punto va prácticamente suelto. No hay apenas huella de soldadura.

*Ensayo de tracción con cizalladura:*

- Velocidad de ensayo: 0,16mm/s
- Carga máxima soportada a rotura: 346 Kg $\approx$  **3394 N**



## Grupo de probetas I.4: Punto quemado

*Parámetros utilizados:*

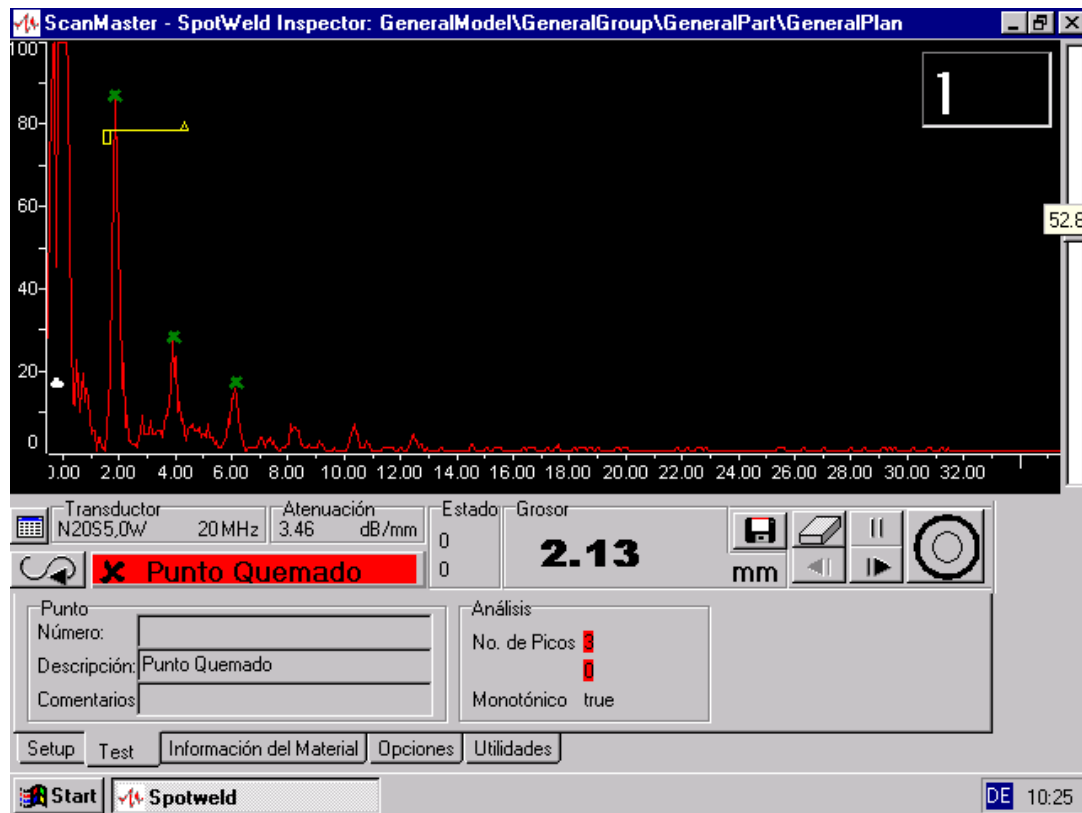
Fuerza electrodos (KN)	<b>1,5 KN</b>
Intensidad Corriente (kA) / nº impulsos	<b>13kA / 1</b>
Tiempo previo (periodos)	<b>20</b>
Tiempo de paso (periodos)	<b>18</b>
Tiempo de forja (periodos)	<b>20</b>



*Aspecto visual:*

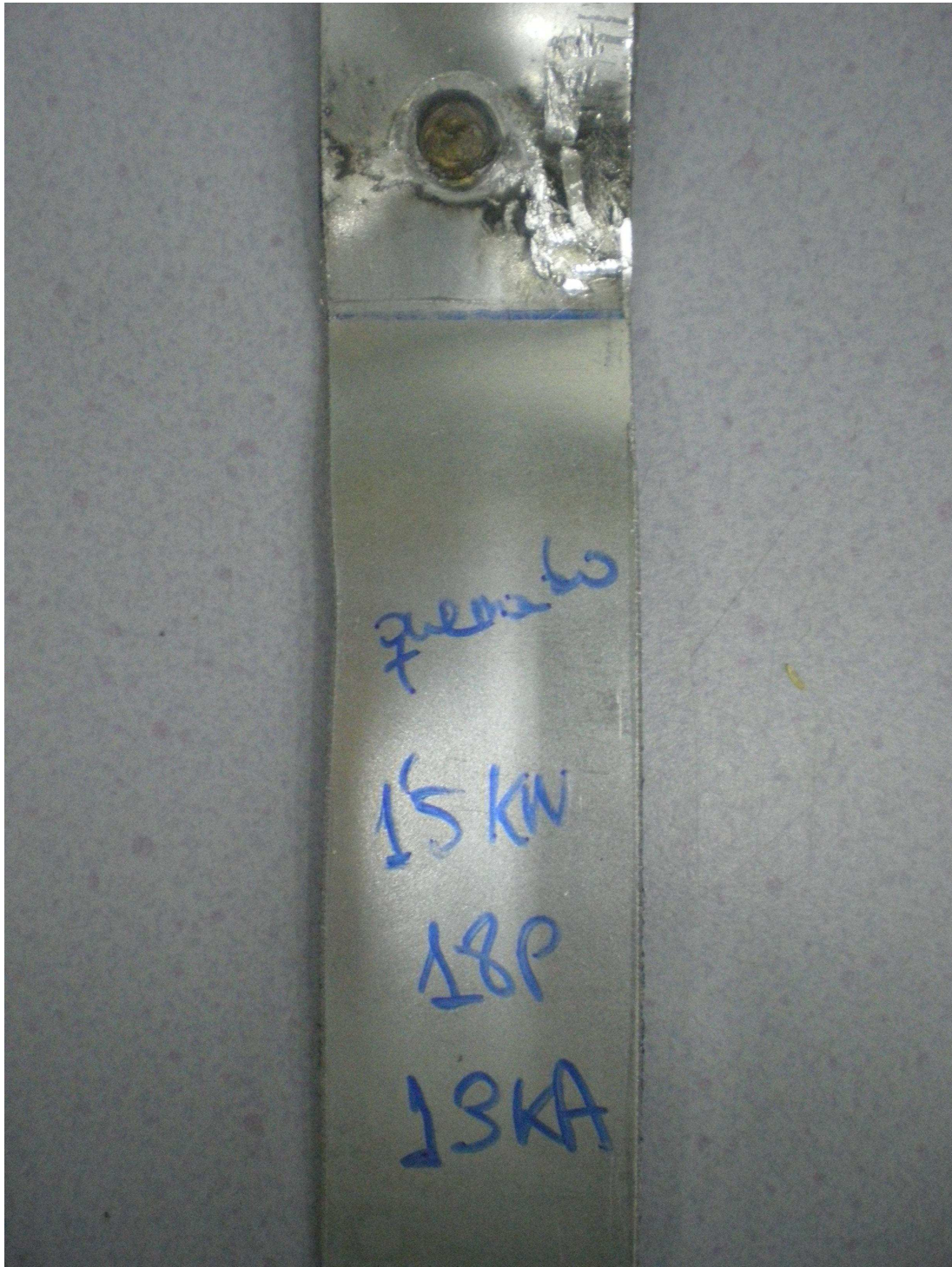


Gráfico obtenido:



- **Atenuación:** Presenta una cifra de atenuación alta (3,46 dB/mm.) y una caída de eco de casi un 66% señal de que hemos obtenido un buen grado de fusión. por otro lado, la distancia entre ecos de fondo (2,13mm.) nos indica que la penetración a sido excesiva y se ha producido una reducción del espesor total de la muestra porque se han dado proyecciones de material hacia el exterior (véase aspecto visual del punto).
- **Separación entre ecos sucesivos:** La distancia entre ecos de fondo (2,13mm.) nos indica que la penetración a sido excesiva y se ha producido una reducción del espesor total de la muestra porque se han dado proyecciones de material hacia el exterior (véase aspecto visual del punto).
- **Presencia ecos intermedios de defecto:** En este caso no se consideran ecos de defecto aunque es típico que aparezcan ecos por sopladuras, como se verá en la probeta sometida a análisis metalográfico se pueden apreciar poros internos en la muestra.



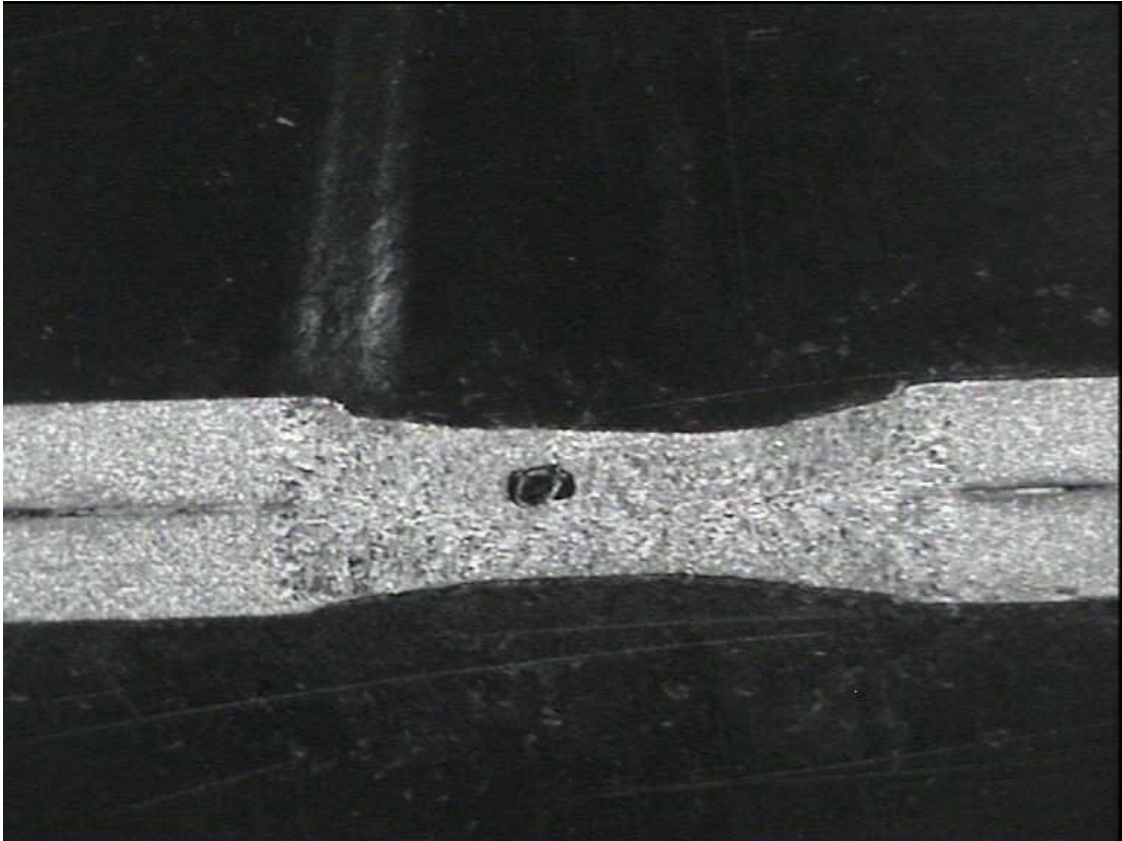
*Ensayo desbotonadura:*

Medición Ø lenteja (dp) por desbotonadura:

$$d_p = \frac{d_1 + d_2}{2} = \frac{8,49 + 9,03}{2} = 8,76 \text{ mm} > 4,89 \text{ luego OK}$$

*Ensayo metalográfico:*

- Ataque con Nital al 4%.

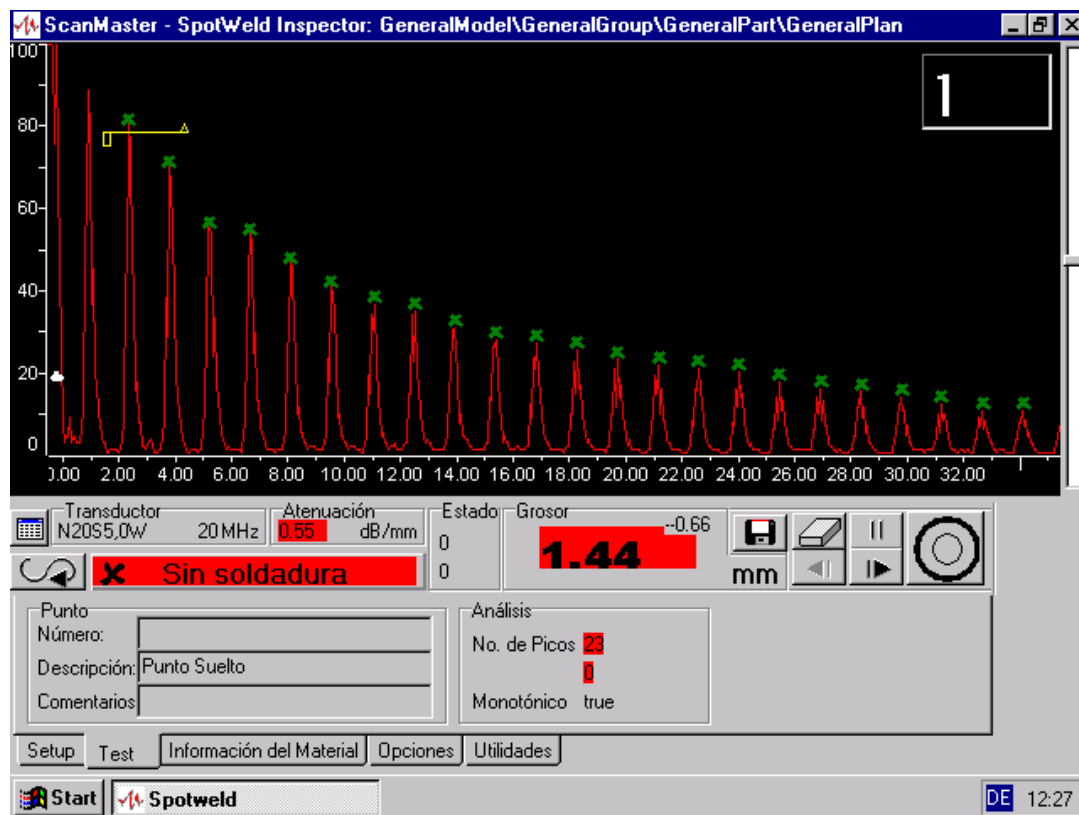


El aspecto es claramente el de un punto quemado. Lo denota entre otros aspectos su exagerada huella y en este caso el poro que se ha generado. Pues es el resultado de la aplicación de una gran intensidad que en combinación con la presión de los electrodos, ha hecho que se expulse parte del material base hacia el exterior en forma de proyecciones.

*Ensayo de tracción con cizalladura:*

- Velocidad de ensayo: 0,16mm/s
- Carga máxima soportada a rotura: 823 Kgf= **8073 N**

## Caso límite: Punto sin soldadura



Se ha considerado incluir la gráfica del caso de tener un punto totalmente suelto, aplicando el transductor sobre una zona no soldada de la probeta, es similar a la señal característica que presenta una muestra que carece de punto de soldadura, los ecos que aparecen en pantalla corresponden entonces al rebote del sonido en la pared de fondo de la 1ª chapa.

- **Atenuación:** Es muy baja (0,55 dB/mm.) y se encuentra muy por debajo del mínimo fijado en la configuración SWD para considerar el punto válido.
- **Separación entre ecos sucesivos:** La distancia entre ecos es de 1,44 mm. prácticamente el espesor unitario de las chapas que conforman la muestra.
- **Presencia ecos intermedios de defecto:** No tenemos ecos intermedios, ya tenemos continuidad de material en todo su espesor.



## 6.8 Tabla resumen parámetros obtenidos

Punto	Pinza	Dp mín(mm.)	Dp real(mm.)	espesor 1(mm.)	espesor 2(mm.)	Intendencia (kA)	T.sold (p)	T.Apriete (p)	T.Forja (p)	F.teórica (N)	F real (N)
<b>OK</b>	Manual Aro XM	≥4,9	7,275	1,5	1,5	9	18	20	20	5100	8554
<b>Lent.Pequeña</b>	Manual Aro XM	≥4,9	3,065	1,5	1,5	6	18	20	20	5100	5297
<b>Pegado</b>	Manual Aro XM	≥4,9	-	1,5	1,5	5,5	18	20	20	5100	3394
<b>Quemado</b>	Manual Aro XM	≥4,9	8,76	1,5	1,5	13	18	20	20	5100	8073



## 7.- Conclusiones. Implantación del método de inspección ultrasónica en el sistema de calidad

---

La realización de los ensayos destructivos después de la inspección ultrasónica de las probetas viene a confirmar que es factible la clasificación de la calidad de un punto de soldadura según los cuatro niveles que hemos establecido.

La indicación ultrasónica obtenida responde al tipo de gráfica teórica asociada a cada defecto según viene explicado en el apartado 4 de la memoria del presente proyecto.

El nivel de calidad de un punto de soldadura puede ser determinado mediante este tipo de ensayo no destructivo atendiendo a las siguientes características del mismo:

- Grado de atenuación de la onda ultrasónica. Es directamente proporcional al espesor o cantidad de material que atraviesa y a la microestructura (tamaño de grano) que presenta la muestra después del proceso de soldadura.
- Continuidad física del material en el punto de soldadura. La continuidad del material en un punto de soldadura con este método, se determina comprobando el diámetro y el espesor de la lenteja de soldadura. El espesor se comprueba midiendo la distancia existente entre dos ecos de fondo y el diámetro se comprueba a través de la aparición de ecos de defecto entre los ecos de fondo.
- Otro tipo de defectos en la soldadura como faltas de fusión y porosidad interna pueden ser reconocidos analizando la presencia ecos intermedios, su forma y su atenuación.

Teniendo en cuenta el examen ultrasónico realizado en las probetas se comprueba que:

### 1.-Punto con soldadura OK

Es aquel cuya lenteja se caracteriza por:

- Tener una microestructura con tamaño de grano basto que atenúa fuertemente el sonido y hace que los ecos de fondo decaigan muy rápidamente.
- El diámetro es lo suficientemente grande como para abarcar toda la anchura del haz ultrasónico, por lo que no se generan ecos de defecto intermedios.
- No provoca reflexiones secundarias significativas lo que hace que los ecos de la gráfica correspondan a los sucesivos rebotes, separados entre si una distancia equivalente a la suma de espesores de las dos chapas.



## 2.- Punto de soldadura pequeño

La lenteja de un punto catalogado como pequeño presenta:

- Buena atenuación del sonido con una microestructura de grano basto similar al punto OK.
- Diámetro de lenteja insuficiente que hace que el haz ultrasónico del palpador la circunde y se refleje al impactar en la zona de separación de las dos chapas, provocando ecos de defectos.

## 3.- Punto pegado

En un punto pegado no tenemos una discontinuidad física total de material, pero la aportación de calor no es adecuado como para fundir suficiente metal

- Posee un tamaño de grano más fino que el de un punto OK, por consiguiente la atenuación es mucho más pequeña y hace que se prolongue la sucesión de ecos de fondo.
- Distancia entre ecos de fondo similar al de un punto válido
- Presencia de ecos secundarios entre ecos de fondo correspondientes a la zona intermedia de las muestras.

## 4.- Punto quemado

- Gran atenuación de sonido por tener un tamaño de grano muy basto debido al calentamiento excesivo del material.
- Diámetro de lenteja correcto
- Separación entre ecos de fondo muy inferior al espesor total de la muestra
- Posibilidad de aparición de ecos de defecto por sopladuras y porosidades internas por expulsión de material hacia el exterior.



Tras la comprobación de que puede ser posible la utilización de la máquina de ultrasonidos como herramienta para diagnosticar la calidad de un punto de soldadura, se plantea el reto de incorporar el método al sistema de calidad de KWD S.A.U. Para ello sería necesario elaborar un procedimiento de uso a modo de instrucción para el operador de la máquina.

Cabe destacar que se debe tener un amplio conocimiento sobre ensayos no destructivos, en especial el método de Ultrasonidos con el fin de asegurar un correcto examen sobre las piezas.

Es evidente que el nivel y la experiencia alcanzada hasta el momento por el autor del proyecto permitiría un examen acertado pero en mi opinión no puede ser todavía lo suficientemente fiable como para prescindir del resto de ensayos, que sería el fin último de la máquina o al menos prescindir del ensayo de desbotonadura y en definitiva reducir el número de piezas que tienen que ser desechadas.



## 7.1 Ejemplo procedimiento interno de instrucción de uso de la máquina de ultrasonidos



### PROCEDIMIENTO: PRO-XY

#### TITULO:

EDICION:	FECHA:	HOJA 150 DE 8
----------	--------	---------------

### Método de empleo

- Verificar en el plan de control los diámetros de soldadura a verificar, seleccionar los cabezales según el plan de control, rellenar los cabezales con agua y cerrarlos, posteriormente verificar la ausencia de burbujas de agua( en caso de hallarse, volver a vaciar los cabezales y realizar la operación de nuevo.
- Untar el cabezal con el líquido transmisor antes de posicionar sobre el punto de soldadura.
- Posicionar el cabezal del ultrasonido sobre la lenteja de soldadura en un grado de inclinación comprendido entre los 85º y 90º grados, sin ejercer presión sobre el punto. Mirar la pantalla del ordenador observando si emite señal de entrada, comenzar a buscar la lenteja de soldadura desplazando el cabezal sobre la superficie del punto, una vez hallado si la onda del ultrasonido no alcanza el 100% del trigger o altura total de pantalla, volver a optimizar la posición del cabezal, cuando la onda alcanza el 100% del trigger, optimizar la señal de entrada respecto a los ecos para evitar la señal de errores, después de obtener estabilizar las señales proceder a subir la ganancia de ultrasonido hasta llegar al punto de congelación del grafico.
- Tras haber alcanzado la grafica completa realizar la valoración según el plan de control.
- En caso de una mala grafica volver a realizar el control hasta obtener una grafica mas clara.
- Tras todos los pasos previos grabar la grafica y analizar otro punto.



### DICTAMEN:

Para realizar un dictamen correcto del punto de soldadura debemos basarnos en diversos aspectos.

1-observación del espesor de la pieza respecto a las huellas del punto de soldadura.

2-diámetro de la huella del punto de soldadura.

3- aspecto del punto de soldadura por las 2 caras de la pieza.

4- para la correcta valoración del punto la superficie debe estar limpia de suciedad.

5- análisis de la grafica del ultrasonido.

La grafica del ultrasonido esta programada para realizar una valoración del punto, para que dicha valoración se tenga en cuenta como aceptada debe tenerse una grafica correctamente marcada.

### Creación de una grafica de ultrasonido:

Para crear una grafica de un punto de soldadura nos basamos en la norma de v.w 011.05.03 (TABLA 2)dp mín de desbotonadura según espesores de material.

Dicha grafica se logra verificando puntos de soldadura que posteriormente se rompen y miden los diámetros de desbotonadura logrados, los resultados se apuntan en la hoja de control de ultrasonidos los cuales se guardan en el cuarto de laboratorio, si dichos diámetros cumplen la norma de v.w. se graban como gráficos de referencia, los cuales son los empleados por el ultrasonido para emitir la valoración, también se tienen en cuenta los espesores totales de las huellas, diámetro de desbotonadura, ecos de la grafica validos para realizar una valoración, etc.

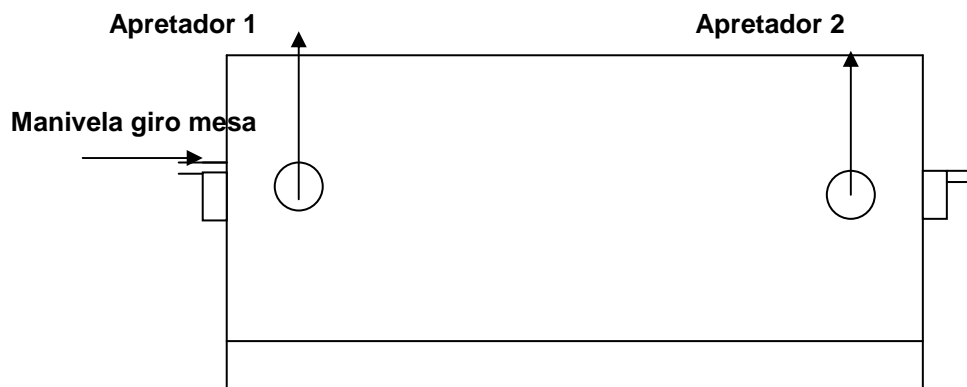
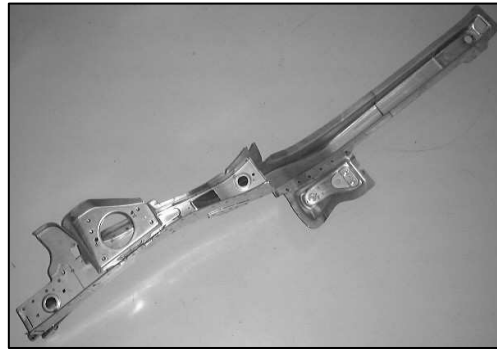
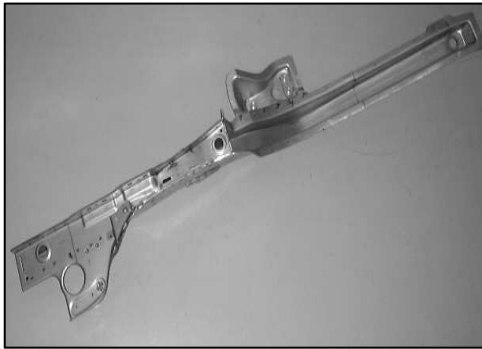
EDICION	REALIZADO	REVISADO	APROBADO
Fecha:	Fecha:	Fecha:	Fecha:
	Dpto.	Dpto. Calidad	Dpto. Gerencia



## 7.2 Necesidades para el manejo del equipo de ultrasonidos

- 1 PINZA DE SOLDADURA CON SU EQUIPO PARA REALIZAR SIMULACIÓN DE NUESTRAS CELULAS( POSIBILIDAD DE REALIZAR LA MISMA PROGRAMACIÓN QUE LAS CELULAS).
- FORMACION DE PROGRAMACIÓN DE LA PINZA DE SOLDADURA.
- PLANOS DE LAS PIEZAS COMPLETAS.
- MESAS GIRABLES PARA COLOCAR LAS PIEZAS SOLDADAS Y PODER VERIFICAR LAS SOLDADURAS (PENDIENTE DE DEFINIR SU CONSTRUCCION).
- HERRAMIENTAS MANUALES PARA REALIZAR LA ROTURA DE LAS SOLDADURAS.
- NORMAS DE V.W.
- PIEDRA DE ESMERIL, O MAQUINA DE CORTE POR SOLDADURA.
- 1 IMPRESORA PARA LA MAQUINA DE ULTRASONIDOS.
- 1 MESA PARA FIJAR LA PINZA.
- MATERIAL DE OFICINA.
- BURILES PLANOS
- ROTULADORES INDELEBLES PARA MARCAR PIEZAS.
- GEL Y MEMBRANAS PARA ULTRASONIDOS.
- UNA LUPA PARA ANALIZAR LAS DESBOTONADURAS ( GRIETAS, POROS ETC) .
- UNA FRESADORA PARA REALIZAR SIMULACIÓN EN LOS CAPS.

### 7.3 Planteamiento de útil de inspección para inspección largueros

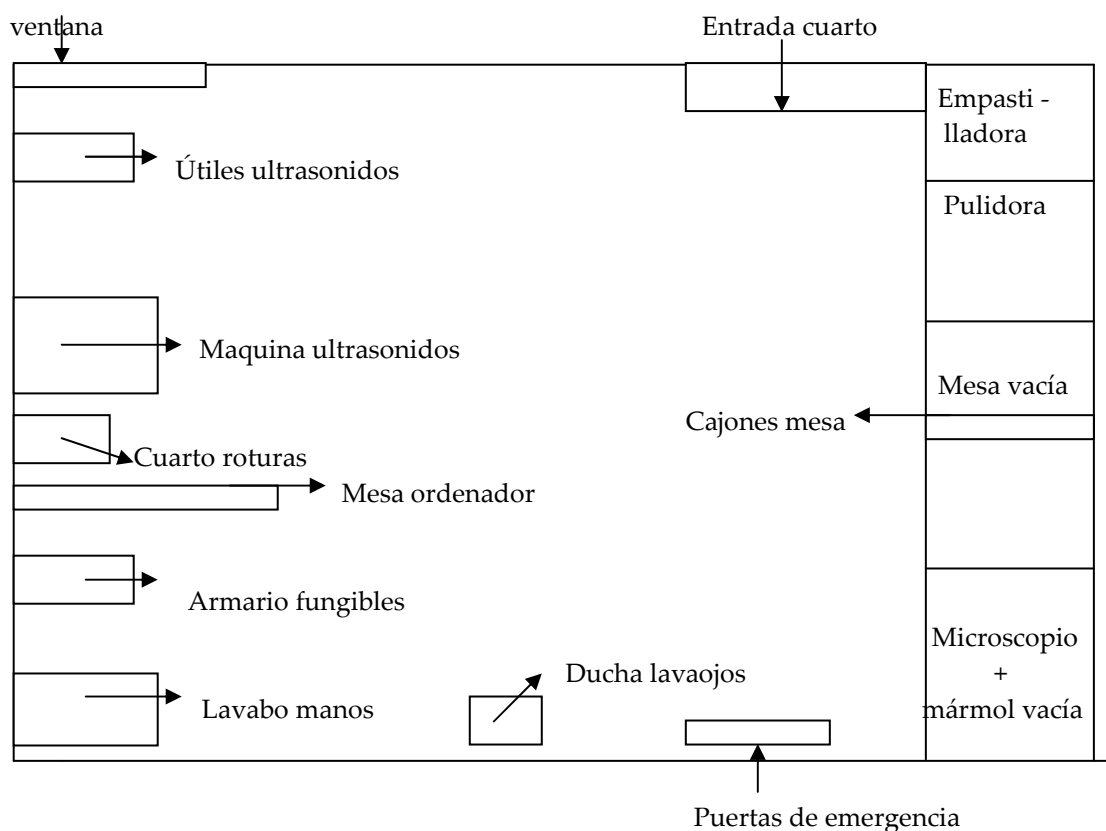


#### Requerimientos:

- Maqueta válida para las dos referencias: Larguero anterior derecho e izquierdo
- Los apretadores deben ser tipo gancho como los usados en metrología.
- La manivela permite el giro de la mesa para tener un mejor acceso a la hora de realizar la inspección.

## 7.4 Propuesta nueva distribución cuarto de laboratorio

## Cuarto de laboratorio





## 8.-Bibliografía y normativa consultada

---

- INTRODUCCIÓN A LOS MÉTODOS DE ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS PARA EL CONTROL DE CALIDAD DE LOS MATERIALES. Inta 1980
- MANUAL PARA LA SOLDADURA POR RESISTENCIA. Abad-Bisbe 2002 ISBN: 84-607-5060-4
- ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS POR ULTRASONIDOS. Alfonso Fernández Hatre. Instituto de fomento Regional Principado Asturias
- GUÍA DE ESTUDIO INSPECCIÓN SOLDADURA POR PUNTOS. Institut Tècnic Català de la Soldadura
- ULTRASONIC TESTING OF SPOT-WELDED JOINTS ON COATED STEEL SHEETS AND OPTIMIZATION OF WELDING PARAMETERS. Richard Kaminski. Special Issue Krautkramer
- APUNTES EXAMEN INSPECTOR UT NIVEL 2. Ifitend Madrid
- Recursos de Internet Asociación Española de END
- UNE- EN 583-1: ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS. EXAMEN POR ULTRASONIDOS. PARTE 1: PRINCIPIOS GENERALES
- UNE-EN 583-2: ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS. EXAMEN POR ULTRASONIDOS. PARTE 2: AJUSTE SENSIBILIDAD Y BASE DE TIEMPOS
- UNE- EN ISO 14273 MEDIDA DE LAS PROBETAS Y PROCEDIMIENTO DEL ENSAYO DE CIZALLADURA PARA SOLDADURAS POR RESISTENCIA POR PUNTOS, POR COSTURA Y POR PROTUBERANCIAS
- NORMA VW 01105-1: UNIONES SOLDADAS POR PUNTOS. CHAPAS CON Y SIN RECUBRIMIENTO
- PROCEDIMIENTO INTERNO VW PV 6702: UNIONES SOLDADAS POR PUNTOS. ENSAYOS DE RESISTENCIA





# ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS INDUSTRIALES Y DE TELECOMUNICACIÓN

Titulación:

INGENIERO TÉCNICO INDUSTRIAL MECÁNICO

Título del proyecto:

CONTROL DE CALIDAD DE PUNTOS DE SOLDADURA  
MEDIANTE INSPECCIÓN POR ULTRASONIDOS

ANEXOS

Daniel Escuderos Ibáñez

Lucas Álvarez Vega

Pamplona, 10 de Septiembre 2009



## CONTENIDO

---

- ANEXO I: Informe MDS de sustancias y materiales de composición de las probetas
- ANEXO II: Características técnicas máquina ultrasonidos
- ANEXO III: Características palpadores
- ANEXO IV: Características de Caps empleados
- ANEXO V: Norma interna VW 01105-1: Uniones soldadas por puntos. Chapas con y sin recubrimiento
- ANEXO VI: UNE-EN-ISO 14273:2002 Medida de probetas y procedimiento de ensayo de cizallamiento para soldaduras por resistencia por puntos

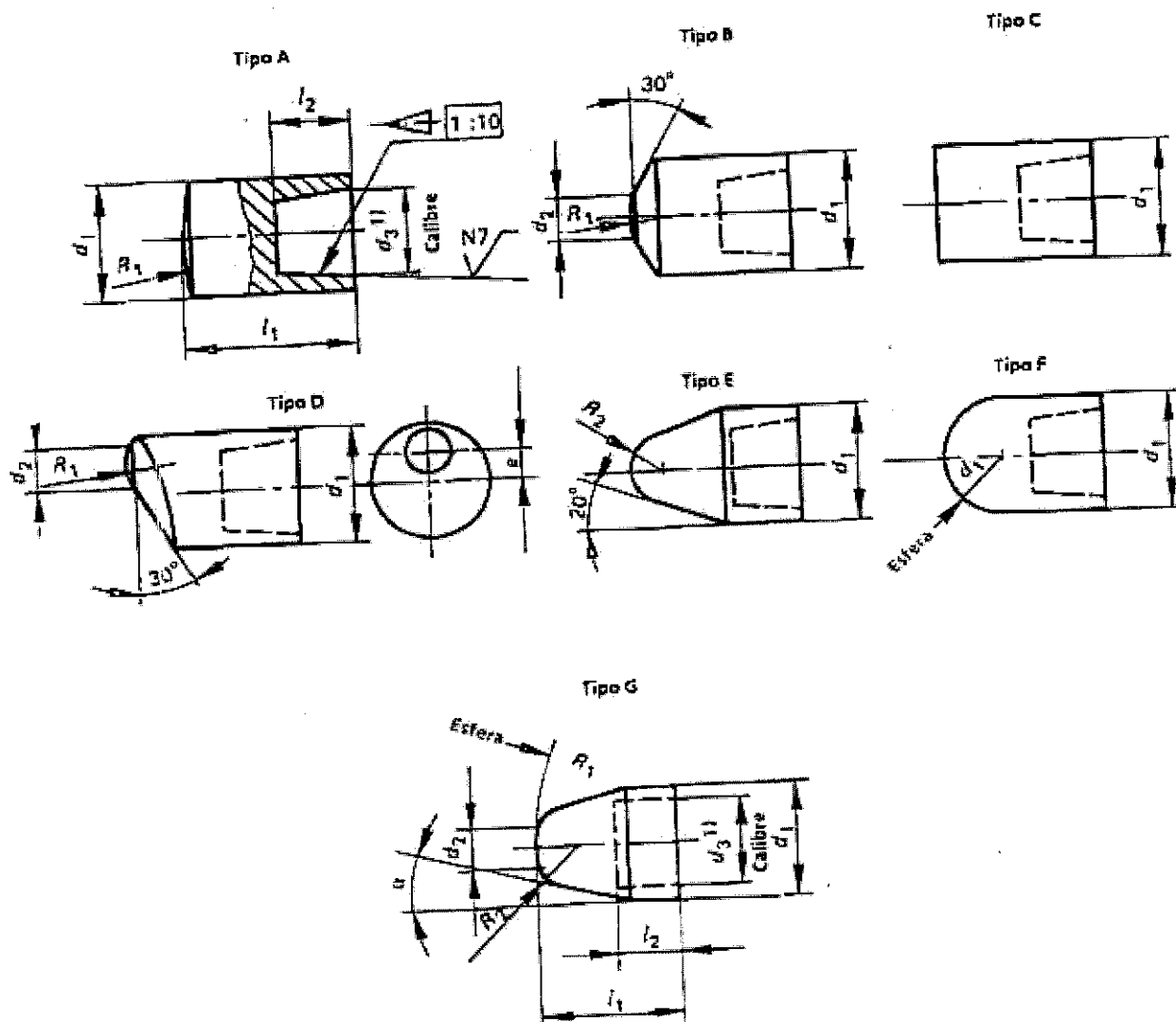


Tabla  
Medidas

Medidas lineales en milímetros

$d_1$ h11	$d_2$	$d_3$ <sup>1)</sup>	$l_1$	$l_2$ $+0,5$ $0$	$e$	$R_1$	$R_2$	$\alpha$	Fuerza del electrodo <sup>2)</sup> $F_{m\acute{a}x.}$ kN
13	5	10	18	8	3	32	5	—	2,5
16	6	12	20	9,5	4	40	6	15°	4
20	8	15	22	11,5	5	50	8	22,5°	6,3

- 1)  $d_3$  es una dimensión lineal en una línea de referencia del cono.  
2) Solamente a título informativo

# LUVATA

**INSPECTION CERTIFICATE  
ABNAHMEPRÜFZEUGNIS  
CERTIFICATE DE RECEPTION**

to ISO 10204 3.1.B  
gem. ISO 10204 3.1.B  
suivant ISO 10204 3.1.B

Inspection date 28/11/09.....  
Part number FB20A00.....  
Batch number 20090705.....

## A-TRODE™ ELECTRODE

We confirm that the above mentioned A-TRODE™ electrodes conform to the following specification.

Nous confirmons que les électrodes en A-TRODE™ citées au dessus se conforment à la spécification suivante:

Wir bestätigen die Konformität der o.g. A-TRODE™ Elektrode auf folgende Spezifikationen:

Chemical composition:	
Chemische Zusammensetzung:	
Cr:	ca. 0.8%
Zr:	ca. 0.1%
Cu:	ca. 98.9%
Hardness / Härte / Dureté:	Rockwell B: 83-86.
Dimension / Abmessungen:	to / gem. ISO 5821.
Taper / Konus / Cone: 1:10 x 12mm Dia.....	

Further we confirm that A-TRODE™ electrodes are free of Beryllium, Cobalt, Nickel, Cadmium and other heavy metal.

Nous confirmons aussi que les électrodes en A-TRODE™ ne contiennent pas du Beryllium, Cobalt, Nickel, Cadmium ni d'autres métaux lourds.

Ferner bestätigen wir dass A-TRODE™ Elektroden frei von Beryllium, Cobalt, Nickel, Cadmium und sonstige schwere Metalle sind.

.....  
Geoff Holmes  
Quality Manager

Luvata Welwyn Garden Limited

Centrapark, Bessemer Road, Welwyn Garden City, Hertfordshire, AL7 1HT ENGLAND  
Tel: +44 (0)1707 379 789, Fax: +44 (0)1707 334 300, [www.Luvata.com](http://www.Luvata.com)  
Company Reg No. 263 68 65, VAT No. 587 0173 25

## Train Inspection systems

### upi- 50 2000 SERIES

**Multi-channel, multi-tasking ultrasonic instruments, with advanced networking and reporting capabilities for nondestructive inspection and evaluation**



#### PRODUCT DESCRIPTION

##### Introducing the 2000 Series

The **upi-50 2000 Series** extends the capabilities of the industry-standard, fully-digital **upi-50** ultrasonic instrument into the realm of high-speed, a multi-tasking applications with full compatibility to networking, data archiving and reporting codes. Encompassing new RPP2 or RPP4 programmable square-wave pulser preamplifiers with up to eight independent channels on board, the **upi-50 2000 Series** provides the industrial user and development lab with the next-generation platform for ultrasonic applications.

##### Hardware

Industry-certified UPR-50 digital ultrasonic electronics, one to eight channels, with a 50MHz bandwidth and 100MSamp/sec sampling rate. Choice of Pentium<sup>1</sup> or Pentium II<sup>1</sup> CPU, with Windows NT<sup>2</sup> operating system. Selection of on-board mass-storage devices.

##### Enclosures

Rack-mount or transportable tabletop enclosure, with full-feature I/O connector panel.

##### High-resolution screen displays

800 x 600 pixel, extra-bright TFT screen display on tabletop instrument; high-resolution 17" display is standard with rack-mount version.

##### Front-end square wave pulser

Choice of plug-in RPP2 or RPP4 programmable square-wave pulsers, each with linear preamplifier, offering outstanding near-surface resolution, penetrating power, and equivalent input noise less than 4nvolt/ $\sqrt{\text{Hz}}$ .

##### Linear or log amplification

Optional plug-in LAM4 programmable logarithmic amplifier with dynamic range exceeding 85dB offers menu-selectable linear or logarithmic signal conditioning with exceptional low-noise operation.

##### ScanMaster 2000 software

**ScanMaster 2000** software for instrument set-up and display, application control, flaw evaluation, measurement and documentation, with the full multi-tasking capability of Windows NT. All instrument functions directly accessible from the **ScanMaster 2000** Toolbox with easy-to-learn, easy-to-use application tailored operator interfaces.

##### Applications

Flaw detection and evaluation in metals and composites, wall and clad thickness measurements, B and C-scan imaging and evaluation.

##### Report Generator

Documented inspection reports application-tailored to customer specifications.

##### Visual ScanMaster Builder

Custom-tailored 'virtual' control panels for specific inspection applications. Knobs look and work just like analog instrument controls.

#### 1998 Scan Master 2000 APPLICATIONS

- Servo control interface for AC and DC servo motors
- C-scan imaging with encoder synchronization
- Macro language capabilities - custom tailored building blocks for automated inspection
- Longitudinal and spiral weld B and C-scan imaging
- Full-body bar and pipe inspection
- Transducer characterization with FFT and inspection report
- Multi-channel wall thickness measurement

Overall Analog Performance	
Analog bandwidth,receiver	1 to 50MHz (-3dB)
Calibrated gain	92dB
Gain step size	0.2dB
Full screen sensitivity	50 $\mu$ V peak to peak
Equivalent input noise	< 4nV $\sqrt{\text{Hz}}$
Linearity	$\pm 1$ dB
Channels	
Number of channels	1 to 8
Channel triggering	Internal or external
Front End RPP2 and RPP4 Pulsers	
Installation on-board	1 to 4 ch. <sup>1)</sup> - RPP2
	1 to 8 ch. - RPP4
Free-standing or mounted in <i>Octaport</i>	1 to 8 ch., installation to 50 m (150 ft)
Pulser type	High resolution (HR) High voltage (HV)
RPP2 Pulser Characteristics	
Excitation	Square wave
Amplitude	8 levels
Max. pulse amplitude, 50 $\Omega$ load	300V $\pm$ 10% (HR) 450V $\pm$ 10% (HV)
PRF	2 to 5000Hz
Damping	8 settings
Stability	$\pm 2\%$ FSH
Flatness	$\pm 0.5$ dB
Mode	PE, TT, Fire Twice, Fire Next
Pulse rise time	9nsec (RPP2 HR)



	25nsec (RPP2 HV)
Pulse width	16-500nsec (HR)
	50-500nsec (HV)
No. of steps	250
Isolation (PE/TT)	> 60dB @ 5MHz

### Preamplifier Characteristics

Programmable gain	0, 12, 25, 42dB
Bandwidth (-3dB)	1-35MHz
Output voltage	2.0Vp-p

### LAM4 Logarithmic Amplifier

Installation	In series with RPP2
Dynamic range	85 dB
Bandwidth	1-10MHz
Output Voltage	1.0Vp-p

### Frequency Filters

Number and type of filters	7 band pass, 1 wide-band
----------------------------	--------------------------

### Time Base

Range <sup>2) 3)</sup>	100nsec to 245μ sec
Delay plus range <sup>2) 3)</sup>	100nsec to 640μ sec
Resolution <sup>2)</sup>	10nsec

### Hardware Gates

Number	4, expandable to 32
Modes	Master or slave
Range <sup>2) 3)</sup>	100nsec to 245μ sec
Delay and range <sup>2) 3)</sup>	120nsec to 245μ sec
Resolution <sup>3)</sup>	10nsec
Peak detection	Positive, negative or absolute
Alarm threshold	Positive or negative going
Dynamic gate	Backwall echo tracking

### DAC

Dynamic range	50dB
Amplitude resolution	0.2dB
Number of steps	1 to 506
Step width <sup>3)</sup>	320/640nsec
Position resolution <sup>3)</sup>	10nsec (first step)
Slew rate	> 40dB/320nsec
Interpolation	Between calibration points
Last gate attenuator	To 50dB

### Analog to Digital Conversion

Resolution	8 bit
Sampling rates	6.25,12.5,25,50,100Msamp/sec, single shot
High speed buffer	24 or 48KByte

### Data acquisition speed

Peak amplitude and time of flight	Up to 132K measurements/sec
A-scan capture	Up to 10MByte/sec continuous

### Computer, Data Storage and Display

CPU	Pentium or Pentium II, from 233MHz
RAM	32MByte, expansion to 128MByte
Hard disc drive	2.1GByte, expansion to 6.1GByte
Floppy disk drive	1.44MByte
Display	10.4" high-brightness TFT color (800 x 600 pixels)
Control device	Keyboard, mouse or trackball
Remote control	Programmable hand-held infra-red
Removable mass storage device	100MByte, 1GByte
<b>Interfaces</b>	
Standard	SCSI
	External VGA
	Printer, Dual serial
Optional	2 or 16 port digital I/O

	Dual encoder
	LAN, MODEM
	2 or 8 Ch. D/A
	2 or 8 Ch. A/D
<b>General</b>	
Power requirements	115V or 230V $\pm$ 10%
	48-63Hz, 250VA
Operating temperature range	5 to 40° C - RPP2,4 <sup>4)</sup> 5 to 35° C - <b><i>upi-50</i></b>
Humidity	< 80% non-condensing
Dimensions	450mm x 220mm x 390mm (17.7" x 8.7" x 15.4") - W:H:D
Weight, single channel version	13.5Kg (30Lbs)

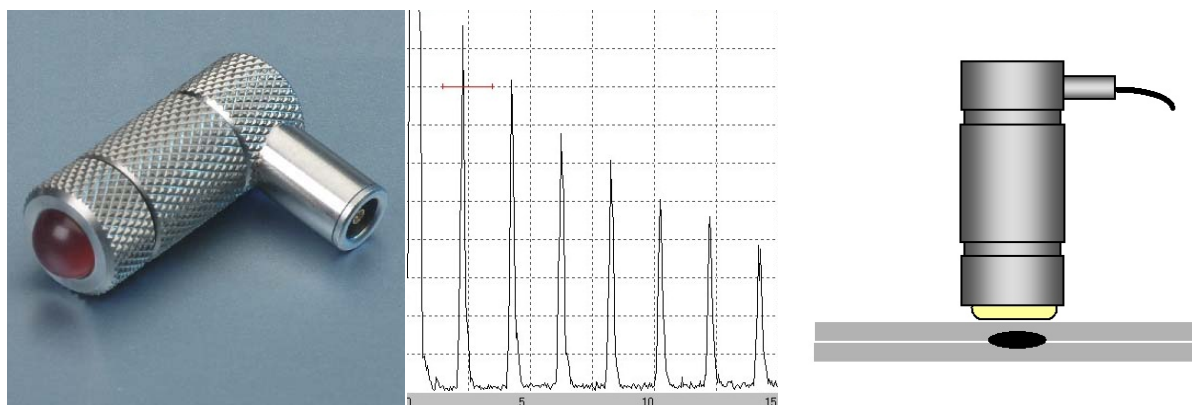
1) 1 - 6 ch. in Fire Twice mode. 2) With standard 24K buffer. Maximum range and delay doubled with 48K buffer. 3) At 100MSamp/sec sampling frequency. 4) Mounted externally.



## Dialog Spotweld Probe with flexible contact surface

Product Code: **67886**

**G 20 MN 5,6 X**



Transducer	Ø 5.6 mm
Transducer Material	PVDF
Frequency	20.0 MHz
Relative Bandwidth	45 - 65 %
Housing Dimensions	Ø 15.4 mm H 32.5 mm
Housing Material	Stainless steel
Water Delay Line	L 12.0 mm
Connector	Lemo socket size 00, Triax
Spare Foils	ES 14/01 soft (25 pcs.) ES 14/02 hard (25 pcs.)
Accessories	Cable MPKL 2 X [ID 59000] Spare foils ES 14/01 soft (100 pcs.) [ID 66778] Spare foils ES 14/02 hard (100 pcs.) [ID 67744]

Contact: [trans.geithuerthspecialprobes@ge.com](mailto:trans.geithuerthspecialprobes@ge.com)

## Group Standard

VW 01105-1

Issue 2010-02

Class. No.: 04815

Descriptors: welding, spot welding, resistance spot welding, weld spot, sheet metal, steel, sheet steel

## Resistance Spot Welding

## Design, Calculation

## Uncoated and Coated Steel Sheets

### Previous issues

VW 01105-1: 1977-05, 1993-12, 2003-05, 2003-06, 2003-11, 2007-03

### Changes

The following changes have been made as compared to VW 01105-1: 2007-03:

- Technical responsibility changed
- Appendix A "Limits for quality levels" added
- Referenced standards updated

### Contents

	Page
1 Scope .....	2
2 Terms and definitions .....	3
2.1 Spot welding .....	3
2.2 Heat-affected zone HAZ .....	3
2.3 Unaffected base material .....	3
2.4 Design .....	3
2.4.1 Spot-welded joint .....	3
2.4.2 Weld joint .....	3
2.4.3 Sheet thickness .....	3
3 Requirements .....	3
3.1 Materials (welding suitability) .....	5
3.2 Design (weld reliability) .....	6
3.2.1 Position of the weld spots .....	6

Check standard for current issue prior to usage.

This electronically generated standard is authentic and valid without signature.

The English translation is believed to be accurate. In case of discrepancies the German version shall govern.

Numerical notation acc. to ISO practice.

Page 1 of 32

Technical responsibility	Standards Department
GQL-LM1 Dr. Knud Nörenberg Tel.: +49-5361-9-73623	EKDV/4 Uwe Fischer EKDV
GQL-LM Dr. Stephan Eisenberg	Tel.: +49-5361-9-27995 Manfred Terlinden

3.2.2	Weld sequence .....	7
3.2.3	Arrangement of spots (spot position) .....	7
3.2.4	Spot spacing .....	7
3.2.5	Design examples and dimensions .....	8
3.2.6	Tolerances .....	13
3.3	Manufacturing (welding capability) .....	14
4	Basics .....	16
4.1	Minimum shear force ( $F_s$ ) .....	16
4.2	Cross-tension force $F_K$ .....	17
4.3	Peeling force $F_{peel}$ .....	17
4.4	Torsion .....	18
4.5	Static and dynamic loads .....	18
4.6	Process assurance .....	19
4.6.1	Weld spot geometry .....	19
4.6.2	Number of weld spots .....	23
4.6.3	Surface quality class for spot-welded sheets .....	23
5	Drawing entries .....	24
6	Referenced documents .....	25
Appendix A	Limit values for quality levels .....	26

## 1 Scope

The following basic regulations are based on experience with low to high degrees of mechanization, on test results, as well as on standards and technical regulations, e.g. DVS 2902-1, DVS 2902-2, DVS 2902-3.

This standard is used for the design, calculation and workmanship of resistance-spot-welded sheet steel constructions subject to both static and dynamic loads. The joints used in these constructions are hereinafter referred to as "spot-welded joints".

This standard covers resistance spot welding (reference number 21 acc. to DIN EN ISO 4063) on single-shear spot-welded joints with a sheet thickness ratio  $\leq 3 : 1$  for a thickness of 0,5 mm to 4,0 mm, as well as quality characteristics of single-spot and multiple-spot-welded joints. Larger sheet metal thicknesses and ratios are possible in agreement with the engineering departments. The nugget diameter is always determined by the thinnest sheet thickness.

Sheets according to DIN EN 10139, however, are to be used only if their thickness does not exceed 3,0 mm.

The introduction of zinc-coated sheets, e.g., according to DIN EN 10142 or DIN EN 10292, and the use of high-strength and higher-strength steels require higher electrode forces. This, in turn, may result in the necessity for larger electrode tip and electrode shank diameters (16 mm and 20 mm). When these electrodes are used, the weld nugget moves further away from the root face in the case of angled spot-welded flanges. However, as the distance between the weld nugget and the root face increases, component rigidity and strength decrease.

Further requirements for (resistance) spot-welded joints are included in:

- VW 01105-2 Resistance Spot Welding; Aluminum Materials,
- VW 01105-4 Multiple-Sheet Joints; Dual- and Multiple-Shear Joints

The procedures described in the Test Specifications PV 6702 and PV 6717 are decisive for the quality audit of spot-welded joints.



## 2 Terms and definitions

### 2.1 Spot welding

In resistance spot welding, the weld zone between the parts to be joined is heated to the melting point using resistance heating with electrode force acting simultaneously. Size, shape and position of the melted base material depend on the temporal and spatial interaction of the heat quantities generated and dissipated in the weld zone and its surroundings. Under the influence of the electrode force, the workpieces are joined when the melt solidifies. The welded joint in the shape of a "weld nugget" that develops during this process is referred to as a „weld spot“ (Figure 26) that joins the parts (Section 2.4.2). The nugget diameter  $d_L$  is the diameter of the melted material in the joining plane that is measured on the microsection.

### 2.2 Heat-affected zone HAZ

Area of the base material that remains solid but experiences changes in microstructure due to the thermal energy applied during spot welding.

### 2.3 Unaffected base material

Area of the base material that has experienced no recognizable changes in microstructure due to the energy applied during spot welding.

Base materials that do not differ significantly in their chemical composition and suitability for spot welding are considered materials of the same type. Base materials that differ significantly in their chemical composition and suitability for spot welding are considered as different types of materials.

## 2.4 Design

### 2.4.1 Spot-welded joint

The spot-welded joint is a connection of two or more parts joined directly at the weld joint by one or more "weld spots" or "spot seams". The parts involved are designated on drawings as an ASSY (assembly) or WA (welded assembly).

### 2.4.2 Weld joint

The weld joint is the configuration in which the parts are joined to each other by spot welding. The respective joint type is determined by the design relationships of the parts to each other.

### 2.4.3 Sheet thickness

$t_1$  and  $t_2$  are sheet thickness values of the single-shear spot-welded joint. For the purpose of uniform definition, especially for calculation, the thinnest sheet or the thinnest outer sheet of the joint must always be designated as  $t_1$  if there are different sheet thicknesses. The thickest sheet of the joint is designated as  $t_2$ .

## 3 Requirements

Each spot-welded construction must be "suitable for welding" in order to achieve the greatest possible design strength during manufacturing in the sense of the design goal with adequate safety and optimum cost-quality ratio. This means that the dimensions in the spot welding equipment, the electrode

space requirement, as well as the accessibility of the workpiece must already be taken into consideration during advance engineering. The weldability depends on three influencing variables:

- welding suitability (material),
- weld reliability (design),
- welding capability (manufacturing).

All three criteria have the same priority for weldability, see Figure 1. For a definition, please also refer to DIN Technical Report ISO/TR 581 "Weldability - Metallic Materials, General Principles".

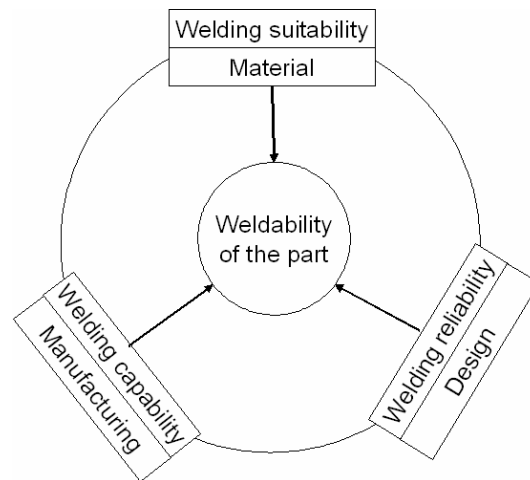


Figure 1 – Schematic representation of the weldability of spot-welded joints

### 3.1 Materials (welding suitability)

The welding suitability is a material property. Materials are suitable for welding if the material's chemical composition allows a welded joint that meets the requirements set forth in the respective standards to be produced.

For a first estimation of the welding parameters of a joining task, it is recommended to prepare a weldability lobe (time/current diagram, Figure 2) stating the limit lines for the minimum and maximum nugget or spot diameters for a constant electrode force and shape, see also DIN EN ISO 14327.

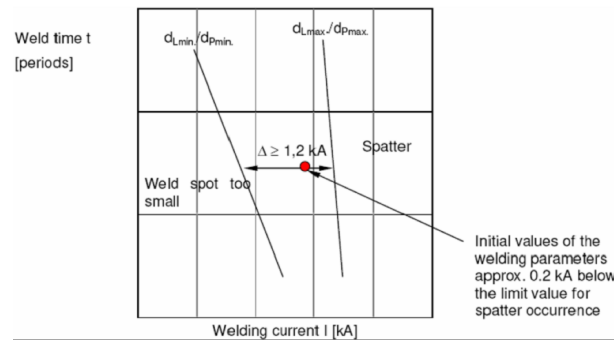


Figure 2 – Weldability lobe

For estimation of the welding parameters, it is recommended to select the welding time and current values such that the following current differences result between the limit lines of  $d_{L\ min}$  or  $d_{P\ min}$  and  $d_{L\ max}$  or  $d_{P\ max}$ :

- $\Delta \geq 1,2\ \text{kA}$  for resistance spot welding equipment with tip cutting device,
- $\Delta \geq 1,5\ \text{kA}$  for resistance spot welding equipment without tip cutting device.

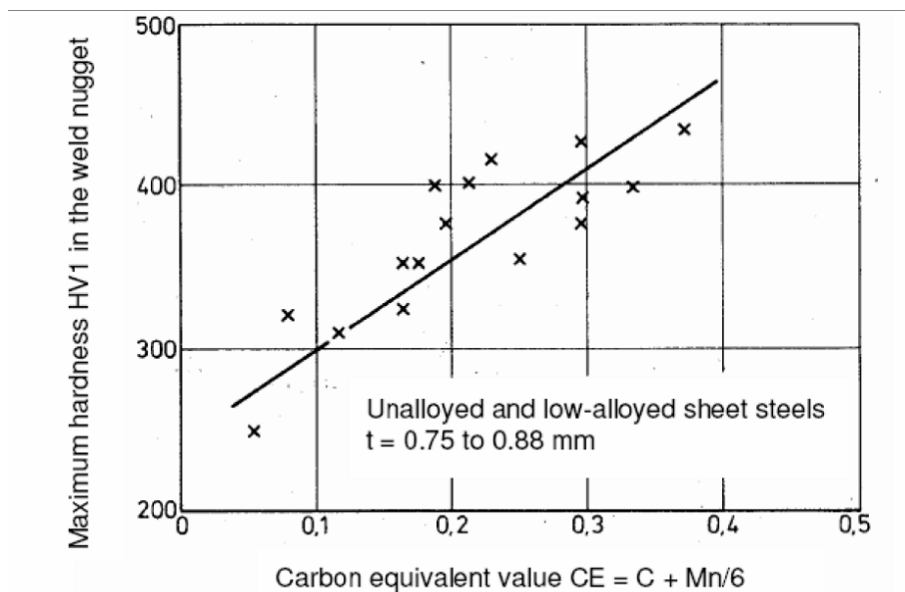
The chemical composition basically influences the microstructure, hardening, nugget formation and strength of the spot-welded joint.

The less the material-related factors have to be considered in manufacturing and design, the greater the welding suitability of a material within a material group (see DVS 2902-2).

Testing of nugget position, nugget shape, and welding range is required for spot-welded joints of mixed materials (especially connections between unalloyed/low-alloyed steels and austenitic steels).

All steels with a C content of up to 0,25% (max. 0,3%) are suitable for spot welding. In many cases, the equivalent carbon content (CE) is used for determining the welding suitability (hardening) of unalloyed and low-alloyed steels. According to DVS 2902-2, the following equation applies to a first estimation of the hardening of the weld metal:

$$CE = C + Mn/6 \quad (1)$$



**Figure 3 – Maximum hardness of the weld nugget as a function of the equivalent carbon content**

Figure 3 is an example illustrating the interdependence between the maximum hardness of the weld nugget and the equivalent carbon content.

Special measures (e.g. reheating, multi-pulse welding, etc.) may be necessary for alloyed steels due to the alloying elements that influence hardness. Therefore, their use has to be agreed upon with the responsible engineering departments and tested separately.

A hardness increase factor of  $\leq 3,5$  is recommended as the limit value for the hardness in both the weld nugget and the HAZ.

Example:

$$\frac{\text{Hardness in the weld nugget or HAZ}}{\text{Hardness limit value}} = \frac{350HV}{100HV} = 3,5 \quad (2)$$

The maximum hardness in the weld nugget and the HAZ must not exceed the value of 550 HV 0,2. See also DVS 2905.

### 3.2 Design (weld reliability)

Weld reliability is of particular importance for design. The design-related weld reliability is mainly influenced by the material and to a slight extent by manufacturing. Weld reliability is provided if, with the material used, a component remains functional under the intended operating conditions due to its design.

#### 3.2.1 Position of the weld spots

The position of the weld spots must be specified by Design Engineering in consultation with Production and Planning departments. If possible, the electrodes should contact the part perpendicular to the part surface. Otherwise, i.e. if they contact the part surface at a different angle, the nugget diameter may be significantly smaller and elliptical.

The key criteria for the distance between the weld spot and the perpendicular flange are the minimum distance  $A = 2,0 \text{ mm}$  from the current-carrying parts, the largest radius  $R_i$ , as well as the electrode shank diameter  $d_s$  or electrode tip diameter  $d_k$ .

Please refer to the drawing or [DIN ISO 2768-1](#) for positional tolerances of the weld spots (spot spacing tolerance).

Further information on the design of spot-welded joints can be obtained from [DVS 2902-3](#).

### 3.2.2 Weld sequence

Continuous rows of weld spots created using only one welding device must have spacings no smaller than 25 mm. For narrower spot spacings, the welding to gap method must be used (to prevent subsequent spots from being too small or loose, see [Figure 4](#)).

### 3.2.3 Arrangement of spots (spot position)

The arrangement of spots must be selected such that the force  $F$  to be transferred is distributed as uniformly as possible over all spots. If the load distribution is not uniform, there will be a negative effect on both the vibration resistance and the crash behavior.

With multiple-row spot seams, the spot arrangement is to be agreed upon with the Design Engineering, Calculation, Strength, Planning and Production departments.

Spots that cannot be welded properly due to difficult accessibility are to be avoided (see [Figure 7](#)).

"Quarter, third, half and three-quarter spots" reduce load bearing capacity. In checked exceptional cases, a defined portion of half and three-quarter spots can be permitted by the Testing department (Vehicle Strength and Vehicle Safety) in certain areas. This must be noted separately in the assembly drawing ([Figure 29](#)).

### 3.2.4 Spot spacing

The spot spacing  $e$  is the distance between the centers of two adjacent weld spots ([Figure 4](#) and [Figure 5](#)). The spot spacing  $e_{Neb}$  indicates the distance below which the shunt can no longer be ignored during the welding process.

The shunt increases when

- spot diameter,
- sheet thickness,
- electrode force, and
- electrode contact surface increase, and when
- the spot spacing decreases.

Depending on the size of the shunt, the welding current must be increased more or less in order to create weld nuggets with the same diameter. The portion of the current that flows over spots of the seam that are already present does not contribute to heating the actual weld area. Therefore, the nugget diameter will be smaller starting from the 2nd spot of a seam if the spot spacing is too small and the setting data are constant. The influence of the shunt can be compensated for with the use of programmable and process-regulating controls. Generally, the following applies:  $e \geq e_{Neb}$

$4 \times d_L$  can be used as a reference value for the spot spacing  $e$ .

Shunt can be ignored for a spot spacing  $e \geq 10 (t_1 + t_2)$ . In the case of multiple-row joints the following applies as a rule:  $e \approx 5 \times d_L$

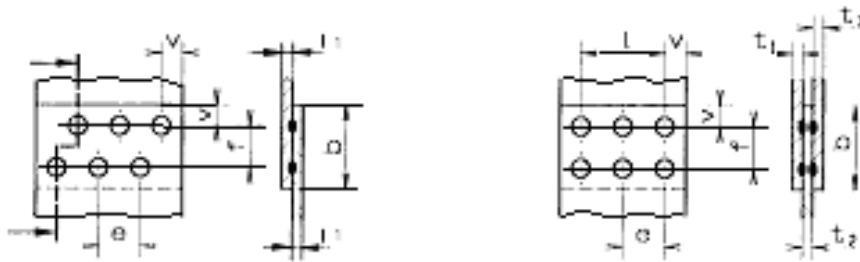


Figure 4 – Left: double-row offset single-shear spot seam; right: double-row double-shear spot seam

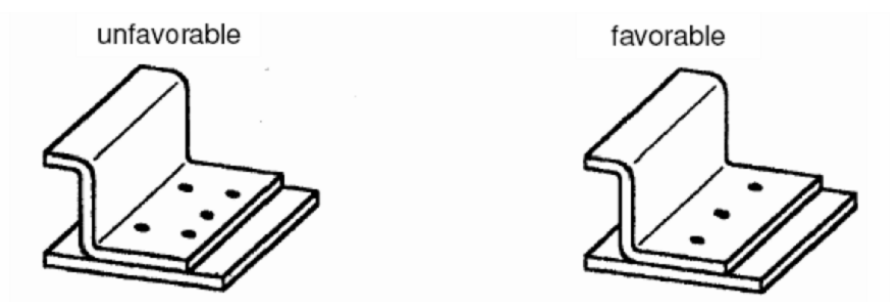


Figure 5 – Prevention of shunt in case of spot spacings that are too small

Figure 6 shows different forms of shunt.

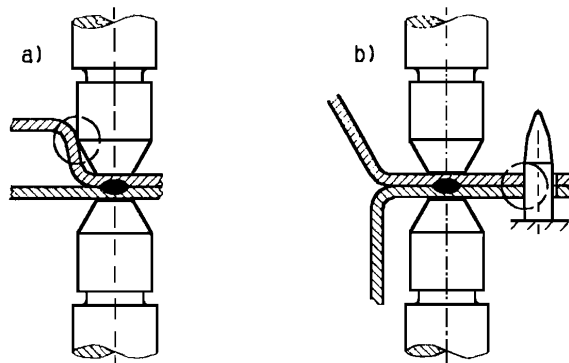


Figure 6 – Forms of shunt

#### Legend

- a) Shunt at the sheet metal due to electrode contact
- b) Shunt via the centering pin (due to close distance)
- The Figure does not show shunt forms caused by
- c) clamps,
- d) the transformer grounding,
- e) the fixture.

### 3.2.5 Design examples and dimensions

Designs with poor accessibility are to be avoided, since specifically shaped electrodes and/or electrode arms would be required (Figure 7 and Figure 12).



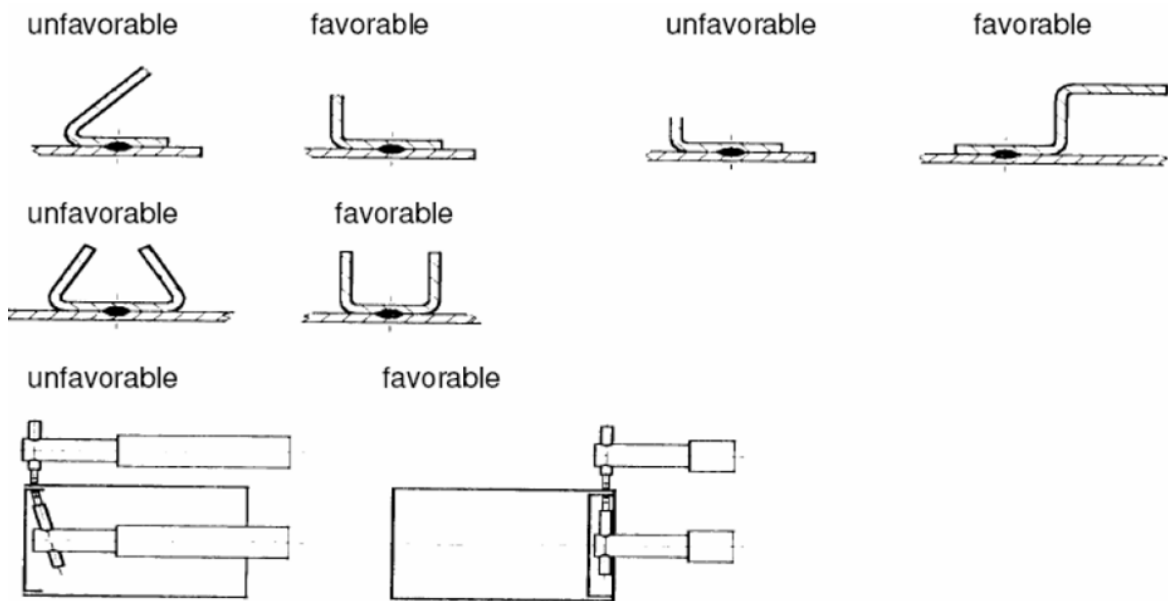


Figure 7 – Examples of unfavorable and favorable accessibility for the welding electrodes at the weld flanges

### 3.2.5.1 Overlap

Overlap  $b$  is the width of the contact surface of the weld flanges on the sections. The planes of the contact surfaces must be parallel and touch each other (Figure 8).

$b$  is the shortest distance between the limit lines. The following applies:  $b \geq 2v$ .

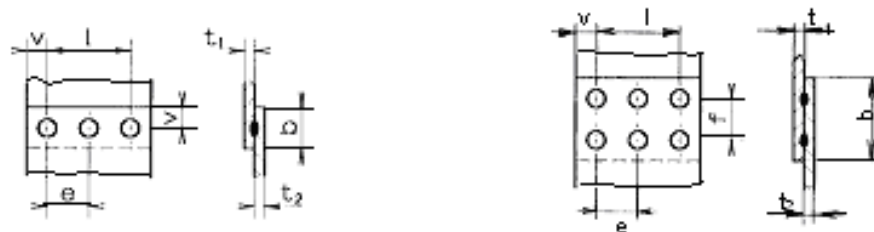


Figure 8 – Left: single-row single-shear spot seam; right: double-row single-shear spot seam

### 3.2.5.2 Seam spacing $f$

For multiple-row spot seams, the seam spacing  $f$  is the shortest distance between the spot centers of adjacent seams (Figure 8 right). The following applies in general:  $f \geq e$ .

### 3.2.5.3 Seam length $l$

The seam length  $l$  is the distance between the spot centers of the first and last spots of a spot seam (Figure 8).

### 3.2.5.4 Edge distance $v$

The edge distance  $v$  is the distance between the weld spot center and the closest limit line of the contact surface (Figure 9).

The following applies as a rule:  $v_{\min} = 1,25 \times d_{L \min}$

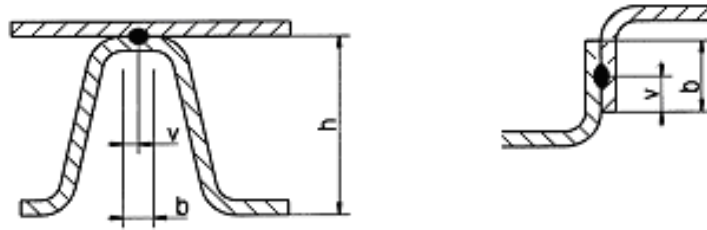


Figure 9 – Edge distance

### 3.2.5.5 Flange width a

The flange width a (Figure 10) is the value that is to be complied with in manufacturing, so that

- a) the position of the weld spot is not too close to the edge of the sheet metal,
- b) the welding equipment (electrode tip and shank) does not create any shunt to the bent sheet,
- c) the selected bending radius of the sheet is small enough to provide a long straight portion of the flange width to ensure a sufficient contact surface for the welding electrode.

The flange width is to be agreed upon between Design Engineering, Planning and Production departments.

For calculation, see VW 01105-1 Supplement 1 "Resistance Spot Welding; Calculation of Flange Width".

In exceptional cases, it is possible to deviate from the flange width calculation. If this is the case, the flange width must be agreed upon between Design Engineering, Planning and Production departments.

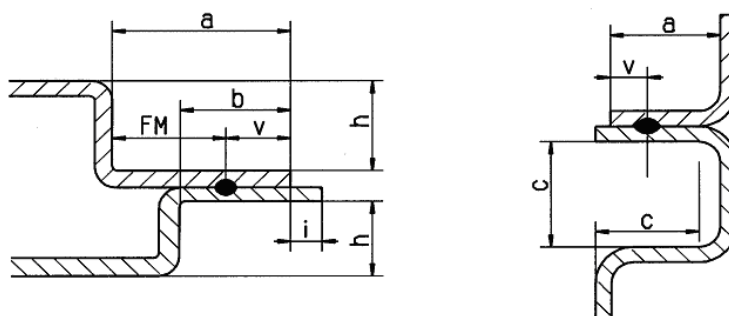


Figure 10 – Flange widths

For multiple-row spot seams, the flange width a is to be increased according to the seam spacing f.

The flange width is measured from the end of the flange to the angled sheet and is composed of the edge distance v and the clearance FM, as well as the tolerance  $T_G$ .

### 3.2.5.6 Flange offset i

The flange offset  $i$  is the maximum projection of the primary flange with respect to the secondary flange, e.g. for the mounting of seals (Figure 10). The secondary flange must not protrude over the primary flange on the trim edge.

### 3.2.5.7 Flange heights $c$ and $h$ , offset $g$

The dimensions  $c$  and  $h$  (Figure 10) take into consideration the dimensions of the spot welding equipment, the electrode space requirements and the workpiece accessibility in manufacturing (see also Figure 13).

The dimension  $g$  specifies the maximum permissible offset (Figure 11).

The values must be agreed upon between Design Engineering, Planning and Production departments.

### 3.2.5.8 Flange and overlap spacing $k$

The flange and overlap spacing  $k$  is the distance between overlap  $b$  and tangent line (Figure 11).

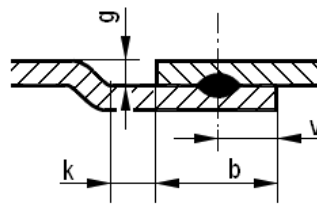


Figure 11 – Offset  $g$ , spacing  $k$

The following applies to  $k_{\min}$ :  $k \geq 2,0 \text{ mm}$

The following applies to  $g_{\min}$ :  $g \geq \text{sheet thickness}$

### 3.2.5.9 Flange geometry

**Table 1 – Weld flange geometry as a function of sheet thickness  $t_{\min}$  and welding conditions (all dimensions in mm)**

Sheet thickness	Spot spacing	Flange dimensions					Diameter		Clearance	Flange width
$t_{\min}$	$e_{\text{Neb}}$	$v_{\min}$	$b_{\min}$	$i$	$g_{\max}$	$k_{\min}$	$d_K$	$d_S$	FM	a
0,5 to 0,6	10	3,3	6,6	$1,0_{-1,0}$	1,1	2	13	13	8,5	15,3
> 0,6 to 0,8	12	3,9	7,8	$1,0_{-1,0}$	1,3		16	18	11	18,4
> 0,8 to 1,0	15	4,3	8,6	$1,5_{-1,5}$	1,5					18,8
> 1,0 to 1,2	18	4,8	9,6	$1,5_{-1,5}$	1,7					19,3
> 1,2 to 1,5	24	5,3	10,6	$1,5_{-1,5}$	2,0					19,8
> 1,5 to 1,6	27	5,6	11,2	$2,0_{-2,0}$	2,5					20,1
> 1,6 to 2,0	27	6,3	12,6	$2,0_{-2,0}$	2,5		20	20	12	21,8
> 2,0 to 2,5	36	6,8	13,6	$2,0_{-2,0}$	3,0					22,3
> 2,5 to 3,0	45	7,6	15,2	$2,0_{-2,0}$	3,5		24		14	25,1
> 3,0 to 3,5	54	8,1	16,2	$2,5_{-2,5}$	4,7					25,6
> 3,5 to 4,0	63	8,8	17,5	$2,5_{-2,5}$	4,7					26,3

Legend:

$$v_{\min} = 1,25 d_{L \min}$$

$$b \geq 2 v \text{ and } b \geq a - r$$

$i$

$g_{\max}$

$k_{\min}$

$d_K$

$d_S$

$$FM = d_S / 2 + A$$

$$a \geq v_{\min} + FM + T_G$$

Edge distance (Figure 9) including tolerance

Overlap (Figure 9)

Flange offset (Figure 10)

Offset of the overlap (Figure 11)

Flange and overlap spacing (Figure 11)

Electrode tip diameter

Electrode shank diameter

Clearance for electrode shank diameter

Flange width, influence of electrode ( $f_{A=2; D \text{ shank}}$ )

with  $T_G = 3,5$

NOTE 1 Since the flange width values specified in Table 1 depend on several factors, and since at least  $T_G$  must be agreed upon between Design Engineering, Planning and Production departments (see Section 3.2.6), the values still have to be corrected accordingly.

### 3.2.5.10 Reference sheet thickness $t_v$

For joints with different sheet thicknesses ( $t_1 \neq t_2$ ), the reference sheet thickness  $t_v$  may be used instead of  $t_{\min}$  for determining the welding parameters.

$$t_v = 0,8 t_1 + 0,2 t_2$$

### 3.2.6 Tolerances

Tolerance values must be agreed upon between Design Engineering, Planning and Production departments.

#### Trim tolerance $T_a$

This value represents the trim tolerance during production of the individual part and must be included in the calculation.

#### General body-in-white tolerance $T_R$

This value considers the general tolerances in body construction, including the inaccuracies of industrial robots and must be included in the calculation.

#### Design-related tolerance compensation $T_K$

The value considers the flange displacements that are provided for secondary flanges and must be included in the calculation.

#### Equipment tolerance $T_V$

This value considers the repetition accuracy of the equipment and must be included in the calculation.

#### Overall tolerance $T_G$

The overall tolerance is made up of the tolerances  $T_a$ ,  $T_R$ ,  $T_K$  and  $T_V$  described above to the extent that these have to be considered.

$$T_G = T_a + T_R + T_K + T_V$$

A total allowance of  $T_G = 3,5$  mm has been chosen for the calculation in [Table 1](#).

### 3.3 Manufacturing (welding capability)

Care must also be taken in design to ensure that the component is capable of being welded (manufacturing-related weld reliability). It must be possible to produce the planned welds properly under the state-of-the-art manufacturing conditions.

During the design of components, the following manufacturing aspects should be taken into consideration:

- If the designs require operating equipment with long arms spaced far apart, it must be determined early in the process whether the available welding equipment is suitable for this purpose.
- If possible, the designs must allow short, straight and rigid arms, electrode brackets and electrodes to be used (Figure 12).

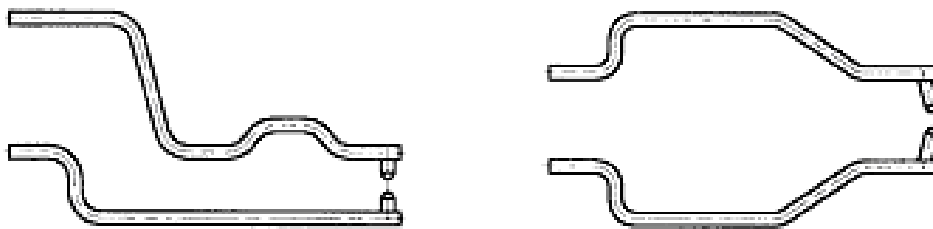


Figure 12 – Examples of electrode arm shapes to be avoided

- Refer to VW 01105-4 for double-shear and multiple-shear joints.
- The distance between the outer diameter of the electrode and/or the electrode bracket and the inner edge of the sheet must be at least  $(2 + 0,5)$  mm (Figure 13). Other specifications must be agreed upon between the responsible specialized departments.

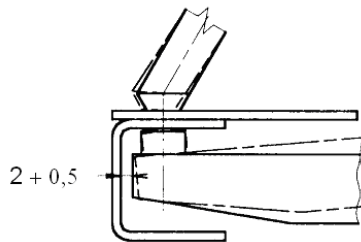


Figure 13 – Poor weld quality caused by electrodes that spring back and slide

- During the welding process of high-strength and highest-strength sheets, the electrodes normally do not penetrate considerably into the base material. As a result, the risk of electrode sliding is increased. Especially if pneumatic electrode holder drives are used, it is important that the electrodes are placed perpendicularly and that the electrode holder is as rigid as possible.
- During welding of spot seams, the welding sequence must be selected such as to avoid the formation of cavities between the sheets (Figure 14).



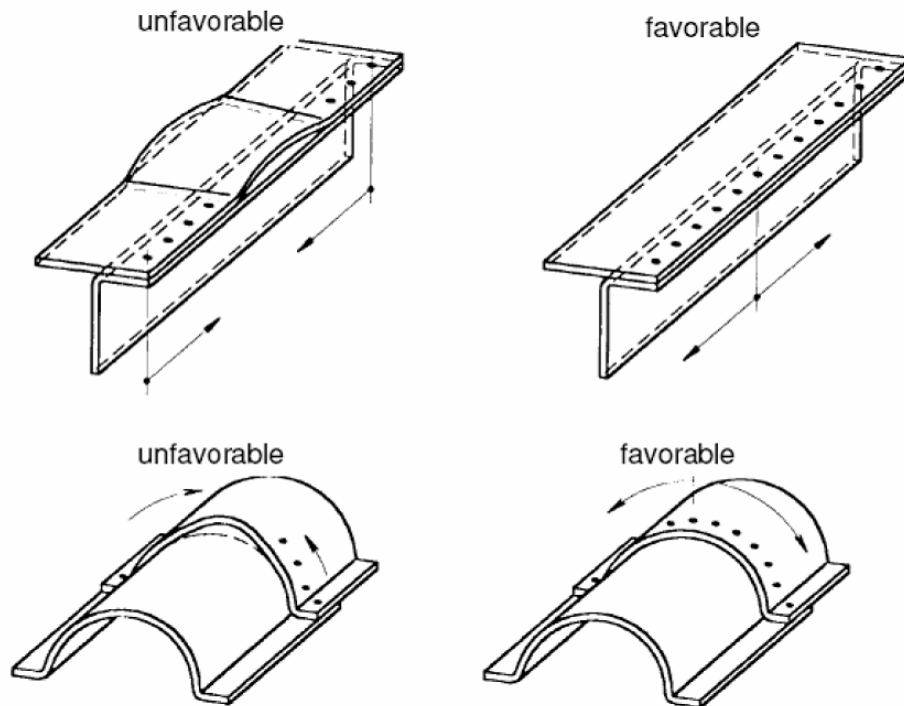


Figure 14 – Welding sequence to avoid the formation of cavities

- The electrode axis must be perpendicular to the sheet surface ( $90^\circ \pm 1^\circ$ ) (Figure 16, Figure 18).

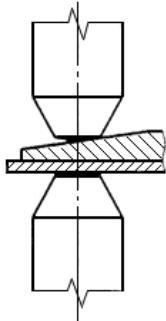


Figure 15 – Not permissible

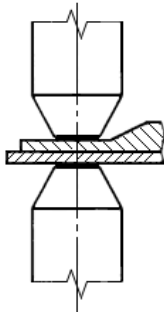


Figure 16 – Favorable

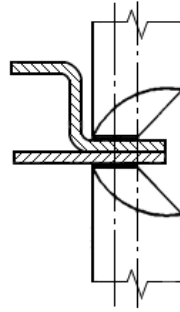


Figure 17 – Permissible

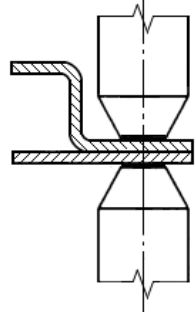


Figure 18 – Favorable

- If asymmetrical electrode tips (Figure 17) are used, special measures are required in series production operation to ensure the proper alignment of the working surfaces (freedom from rotation, orientation during tip change, special electrode tip milling cutters).

## 4 Basics

Different types of loads occur depending on the design of a component (Section 2.4):

- shear tension (Figure 19)
- cross tension (Figure 20)
- peeling tension (Figure 21)
- torsion (Figure 22)

If possible, spot-welded joints should only be loaded with shear tension since the highest forces per weld spot can be transferred with this type of load. Therefore, pure cross or peeling tensions and/or torsion are to be avoided.

### 4.1 Minimum shear force ( $F_s$ )

For a single-shear joint, the shear force  $F_s$  generates a bending moment  $M_b = F_s r_s$  which increases with increasing load and also produces a portion of the cross tension force  $F_K$ .  $r_s$  is set as follows:

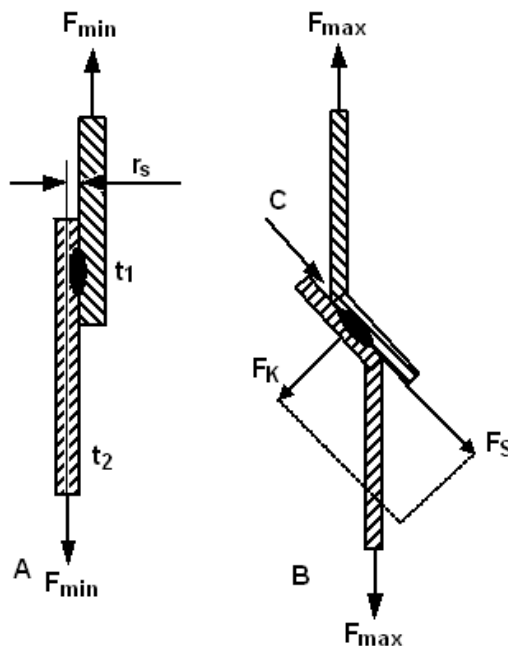


Figure 19 – Shear tension

#### Legend

- |       |   |
|-------|---|
| A     | Prior to tensile test                           |
| B     | After tensile test (exaggerated)                |
| C     | Outer notch                                     |
| $F_K$ | Portion of the cross tension force of $F_{max}$ |
| $F_s$ | Portion of the shear force of $F_{max}$         |

Because of the realistic verification of requirements and the low variation of the test results, the calculations of the spot-welded joints are based on the minimum shear force  $F_{s\ min}$  that was determined from the shear test according to PV 6702:

$$F_{s \min} = F_{\max} - 2 s \text{ in kN} \quad (3)$$

#### Legend

s	Standard deviation
$F_{\max}$	Mean value of the maximum force determined in the shear test according to DIN EN ISO 14273

#### 4.2 Cross-tension force $F_K$

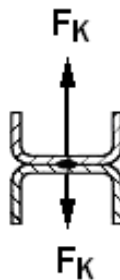


Figure 20 – Cross tension

With this type of stress, the permissible load  $F_K$  is only 60% of the shear force  $F_{\min}$ .

The following applies according to DVS 2902-3 (to materials according to DIN EN 10130)

$$F_K \leq 0,6 F_{\min} \quad (4)$$

#### 4.3 Peeling force $F_{\text{peel}}$

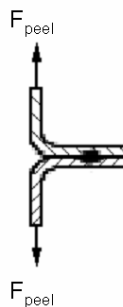


Figure 21 – Peeling tension

With this type of stress, the permissible load  $F_{\text{peel perm}}$  is only 20% of the shear force  $F_{\min}$  as set forth in Table 2 and DVS 2902-3.

$$F_{\text{peel perm}} \leq 0,2 F_{\min} \quad (5)$$

#### 4.4 Torsion

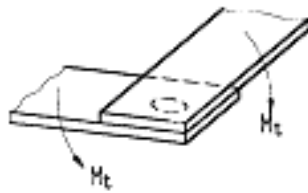


Figure 22 – Torsion

A durable joint is achieved with at least two weld spots, since, with twisting around one spot, the transferable torque  $M_t$  is too low. Designs with only one load-bearing spot are not permissible.

#### 4.5 Static and dynamic loads

A basic distinction is made between calculations with static or dynamic loads. The formula relationship previously specified is used for calculation of static load.

The following information applies to the proof of sufficient strength of dynamically loaded components:

- Because of as yet inadequate knowledge about the influence of the design of the joint and the uncertainties in calculation, the load carrying capacity of the joints for vibration loads must always be verified through testing.
- With a given material thickness, the service life of a joint depends on the load amplitude, the R value (stress ratio) and the type of load (Figure 23). The type of load may be shear or peeling. Cross tension and torsion usually do not occur. Generally no type of load occurs alone and in pure form.

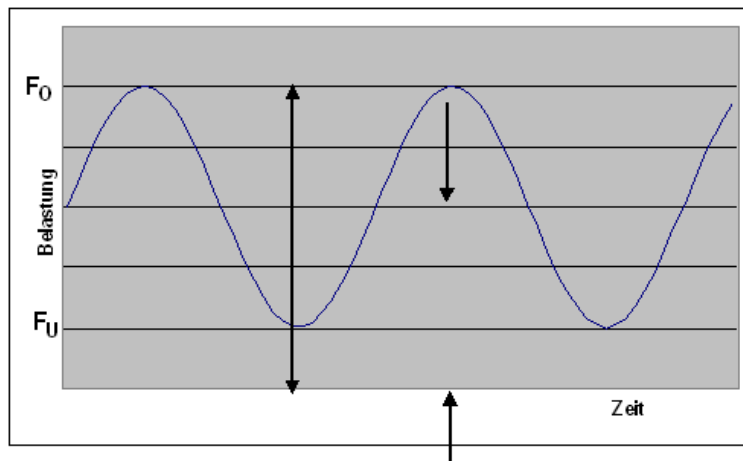


Figure 23 – Load amplitude

- The single-row single-shear joint is to be preferred.
- Dynamic cross tension, peeling tension and torsion are to be avoided due to the low permissible tension.

- Further information – including information on calculation of simple design parts – is included in the source index of DVS 2902-3.
- With respect to component dimensioning it must be observed that, under dynamic vibration load (structural durability), **no** better strength values are achieved with spot-welded high-strength and highest-strength steels than with mild steels.

#### 4.6 Process assurance

Each spot-welded joint is characterized by the sum of its individual characteristics and their influences on manufacturing, which will be evaluated according to the quality requirement using measurable and/or countable values as test characteristics.

The countable value according to which the quality of a multi-spot-welded joint is evaluated is the test characteristic "number of weld spots".

The Test Specifications PV 6702 and PV 6717 contain the test sequence for series production monitoring and the test methods with the respective evaluation levels for acceptance of the spot-welded joints.

##### 4.6.1 Weld spot geometry

###### Nugget diameter $d_L$

The nugget diameter  $d_L$  is the diameter of the area in the joining plane (perpendicular to the joint plane) of the workpiece parts that was molten during the welding process and is distinguished from the base material by a different microstructure (see Figure 24).

The measurement of the nugget diameter  $d_L$  in the joining plane and the evaluation of the weld nugget for weld defects are carried out using metallographic testing acc. to PV 6702 (microsection, see Figure 25). The minimum nugget diameter acc. to Table 2 is

$$d_{L\min} \geq 3,5 \sqrt{t_1} \quad (6)$$

Deviations from the minimum nugget diameter are specified in the drawing.

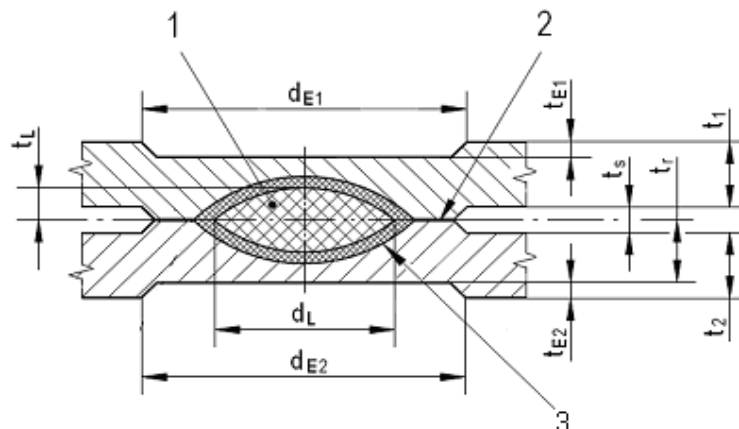


Figure 24 – Schematic representation of a weld spot

### Legend

1	Weld nugget	$t_L$	Weld nugget penetration depth
2	Joining plane	$t_s$	Gap width
3	Heat-affected zone (HAZ)	$t_{E1}; t_{E2}$	Indentation depth
$d_{E1}, d_{E2}$	Indentation $\varnothing$	$t_1; t_2$	Material thickness
$d_L$	Nugget $\varnothing$	$t_r$	Minimum remaining sheet thickness in area of electrode indentation

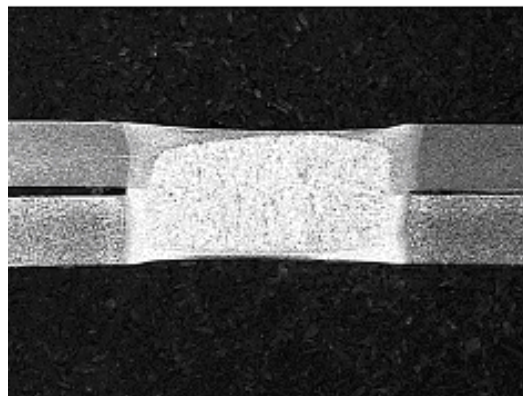


Figure 25 – Microsection of a weld spot

### Weld nugget penetration depth $t_L$

The weld nugget penetration depth must be  $t_L \geq 0,2$  mm. It may be smaller than 0,2 mm, if the strength of the joint is proven (e.g. by determining the spot weld shear diameter in a chisel test).

### Indentation diameter $d_{E1}, d_{E2}$

The indentation diameter  $d_E$  is the mean diameter of an indentation caused by the electrode.

### Indentation depth $t_{E1}, t_{E2}$

The indentation depth  $t_E$  is the greatest depth of the indentation caused by the electrode, see also surface quality classes in [Section 4.6.3](#).

### Sheet thickness $t_1$

$t_1$  is the thickness of the thinnest sheet that is part of the joint. The obtainable strength is determined using the thinnest sheet and can be gathered from Table 2.

### Gap width $t_s$

See Table A.3.

For an individual noise or seal integrity requirement, the permissible gap width will be agreed upon with the respective Design Engineering department with regard to smaller spot spacings.

### Spot diameter $d_p$

In the case of a fracture in the joining plane (Figure 27) or in the case of a shear fracture, the spot diameter  $d_p$  is the mean diameter of the fracture surface in the joining plane of the workpiece parts without adhesion zone.

In the case of a shear fracture at the transition to the sheet,  $d_p$  is the average diameter of the base surface of the sheared button.

In the case of a mixed fracture,  $d_p$  is the mean diameter of the base surface of the sheared button, including the fraction portion in the joining plane ( $d_1$ , not  $d_3$ ! See Figure 26). The spot diameter  $d_p$  is used for desired-value adjustment of the nugget diameter  $d_L$  (Table 2) and is therefore not specified in drawings.

Reference value:

$d_p = 1,15 d_L$  for uncoated and coated sheets

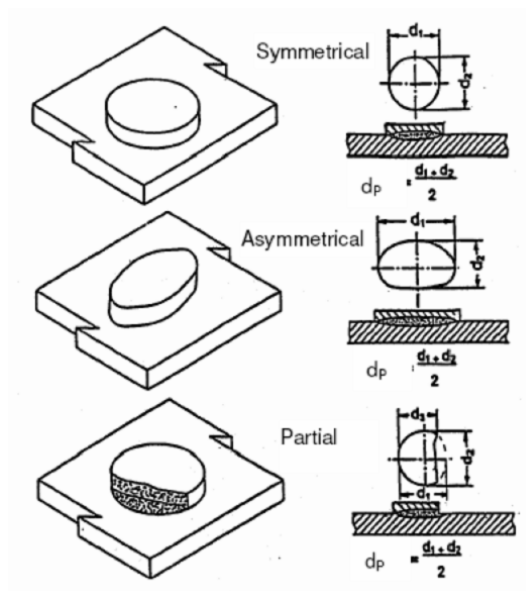


Figure 26 – Spot diameter  $d_p$ ; weld with shear fracture

Hardening of the material during welding can cause buttons with diameters larger than the weld nugget to form when the weld spots shear at the transition to the sheet during workshop tests.

When determining the spot diameter, the primary and secondary axes  $d_1$  and  $d_2$  of the button are determined using a caliper (2nd measurement offset by 90°), and the mean value is determined from



the two measurements. If a precise measurement in two directions is not possible, the smaller diameter is to be used as  $d_p$ .

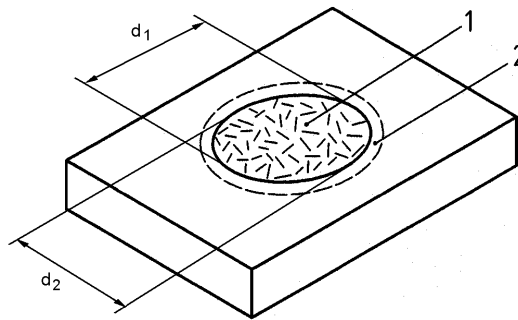


Figure 27 – Spot diameter  $d_p$ ; fracture in joining plane

Table 2 – Determination of the minimum nugget and spot diameters and the minimum shear force via the sheet thickness

Minimum sheet thickness $t_1$	Nugget diameter $d_{L \min} \geq 3,5 \sqrt{t_1}$	Spot diameter $d_{P \min} = 1,15 d_{L \min}$	Minimum shear force $F_{\min}$
mm	mm	mm	kN
0,5	2,5	2,9	1,2
0,6 <sup>1)</sup>	2,7	3,1	1,5
0,7	2,9	3,3	1,9
0,8	3,1	3,6	2,3
0,9 <sup>1)</sup>	3,3	3,8	2,7
1,0	3,5	4,0	3,2
1,25 <sup>1)</sup>	3,9	4,5	4,2
1,5	4,3	4,9	5,1
1,75 <sup>1)</sup>	4,6	5,3	6,1
2,0	5,0	5,7	7,2
2,25	5,3	6,0	8,3
2,5	5,5	6,4	10,6
2,75 <sup>1)</sup>	5,8	6,7	11,5
3,0	6,1	7,0	12,4
3,5	6,5	7,5	15,0
4,0	7,0	8,0	18,5

1)  $F_{\min}$  values extrapolated

The table applies to both parallel and lap joints.

Shear force for materials DC01, DC03, DC04 acc. to DIN EN 10130 (formerly St 12, 13, 14).

With different sheet thicknesses, the thinner sheet  $t_1$  is decisive for determining the nugget and/or spot diameter.

NOTE 2 The spot diameter  $d_p$  corresponds to the nugget diameter  $d_L$  if a fracture occurs in the joining plane (shear fracture) during destructive testing.

#### 4.6.2 Number of weld spots

The determined number and position of weld spots and the determined minimum nugget diameter must be complied with. If there are deviations, a new release by the responsible testing department is absolutely necessary. This must be noted separately in the assembly drawing.

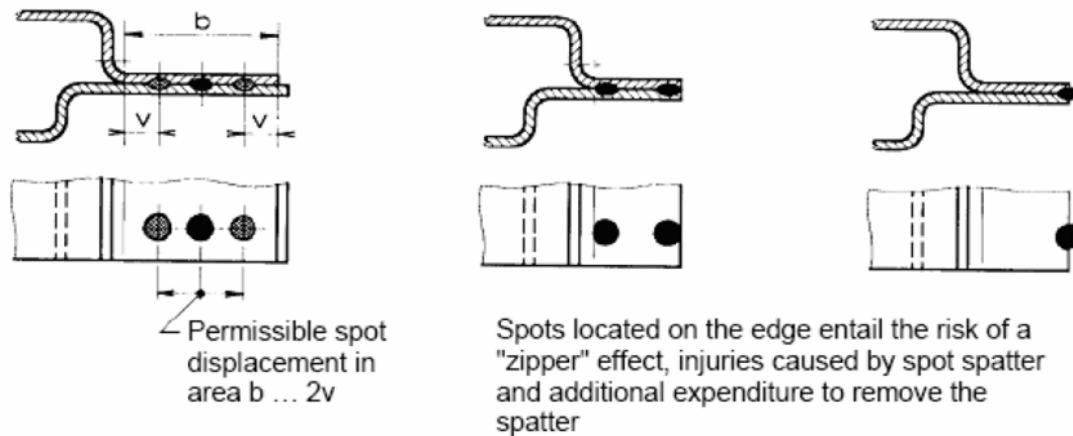


Figure 28 – Spot relocation

#### 4.6.3 Surface quality class for spot-welded sheets

Surface spatter must be avoided.

Weld spatter must be avoided – especially if surface quality class 1 is required – since the electrode penetration depth increases greatly if there is weld spatter between the sheets, and this will clearly exceed the permissible dimension.

Limit samples can be used to support the evaluation.

##### Surface quality class OG1

This surface quality class applies to sheet metal surfaces that, after "metal finish", have to be free enough from marks and impurities that they are invisible after painting (visible area). However, no more than 10% of the sheet thickness may be removed by "metal finish". Marks >10% of the sheet thickness must be filled before the "metal finish".

##### Surface quality class OG2

This surface quality class includes a minimum of marks on the surface and is used where minimum indentations up to 15% below the normal surface will still be accepted (e.g. insides of lids).

##### Surface quality class OG3

This surface quality class characterizes an indentation on the sheet surface up to 20% of the respective sheet thickness.

Here, adhering weld spatter is also permitted unless the drawing specifies freedom from burrs and spatter.

##### Surface quality class OG4

This surface quality class characterizes surfaces without special quality requirements.

If no quality class is specified in the drawing, quality class 4 applies.

## 5 Drawing entries

The general tolerances according to DIN ISO 2768-1, medium, apply to the dimensions b, c, e, g, k and v as well as a, f, h, l (see Section 3.2.5.1 to Section 3.2.5.8).

Figure 29 shows the dimensioning and symbolic representation in assembly drawings and/or PDM drawings. It is based on DIN EN 22553. In addition, the following note is required in the "Documents" column:

### VW 01105-1

DIN EN ISO 17659 contains further information and general principles for the definition of welded seams.

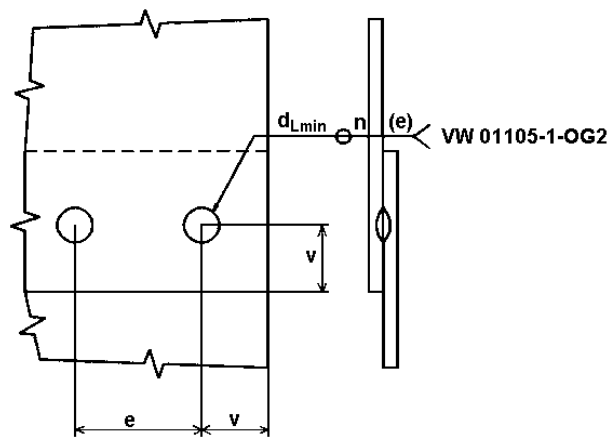


Figure 29 – Symbolic representation of a spot seam

NOTE 3 Meaning of symbols according to DIN EN 22553: The weld nugget diameter  $d_{Lmin}$  must lie between sheets  $t_1$  and  $t_2$  in the joining plane.

NOTE 4 For the exact definition and transfer of position of the weld spots within the "Body" process chain, the applicable requirements for CAD/CAM data in the relevant parts of VW 01059 are to be complied with.

NOTE 5 For technical reasons, the specification of the minimum nugget diameter  $d_{Lmin}$  according to Table 2 is necessary.

NOTE 6 Surface quality class for spot-welded sheets, see Section 4.6.3. The surface quality class always applies to the indicated side only. If no surface quality class is specified, quality class 4 applies.

## 6 Referenced documents

The following documents cited in this standard are necessary for application.

In this Section terminological inconsistencies may occur as the original titles are used.

Standards with the titles given in German are either only available in German or may be procured in other languages from the institution issuing the standard.

PV 6702	Spot Weld Joints; Strength Testing of Steel Materials
PV 6717	Panels (Deep-Drawn Parts) in Steel Body Construction; Evaluation, Rework, Inspection
VW 01105-1 Supplement 1	Resistance Spot Welding; Calculation of Flange Width
VW 01105-2	Resistance Spot Welding; Aluminum Materials
VW 01105-4	Resistance Spot Welding; Three-Sheet Joints
DIN EN 10130	Cold rolled low carbon steel flat products for cold forming - Technical delivery conditions
DIN EN 10139	Cold rolled uncoated mild steel narrow steel strip for cold forming - Technical delivery conditions
DIN EN 22553	Welded, brazed and soldered joints - Symbolic representation on drawings
DIN EN ISO 14273	Specimen dimensions and procedure for shear testing resistance spot, seam and embossed projection welds
DIN EN ISO 14327	Resistance welding - Procedures for determining the weldability lobe for resistance spot, projection and seam welding
DIN EN ISO 17659	Welding - Multilingual terms for welded joints with illustrations
DIN EN ISO 4063	Welding and allied processes - Nomenclature of processes and reference numbers
DIN EN ISO 6520-2	Welding and allied processes - Classification of geometric imperfections in metallic materials - Part 2: Welding with pressure
DIN ISO 2768-1	General tolerances; tolerances for linear and angular dimensions without individual tolerance indications
DIN Technical Report ISO/TR 581	Weldability - Metallic Materials, General Principles
DVS 2902-1	Resistance spot welding of steels with individual thicknesses of up to 3 mm - Overview
DVS 2902-2	Resistance spot welding of steels with individual thicknesses of up to 3 mm - Spot weldability
DVS 2902-3	Resistance spot welding of steels of an individual thickness of up to 3 mm; design and calculation
DVS 2905	Projection Welding of Steels
PV 6702	Spot Weld Joints; Strength Testing of Steel Materials
PV 6717	Panels (Deep-Drawn Parts) in Steel Body Construction; Evaluation, Rework, Inspection

## Appendix A (normative) Limit values for quality levels

A team of experts from both Volkswagen AG and Audi AG has established specifications regarding the permissible irregularities in weld spots. This was to allow spot welds to be evaluated in a stepped manner similar to the one used for fusion welds.

The specified limit values are based on experiences gained with two- and three-sheet joints used in the passenger car body construction sector. Whether or not these limit values can be applied to other assemblies or multi-sheet joints must be verified on a case-by-case basis and agreed upon with Design Engineering, if necessary.

Unless deviating specifications have been made in the drawing, quality level B is to be used as the default specification. Deviations from quality level B may also be specified particularly for individual characteristics.

The required quality level will be specified by Design Engineering alone by means of a drawing entry. Table A.1 provides a reference for determining the quality level required for specific loads:

Table A.1 – References for quality levels

Quality level	Load
B	Dynamic load, crash
C	Predominantly static load or in case of documented tolerance regarding defects
D	Minor load, auxiliary spots

The following supplementary terms are defined acc. to Figure A.1:

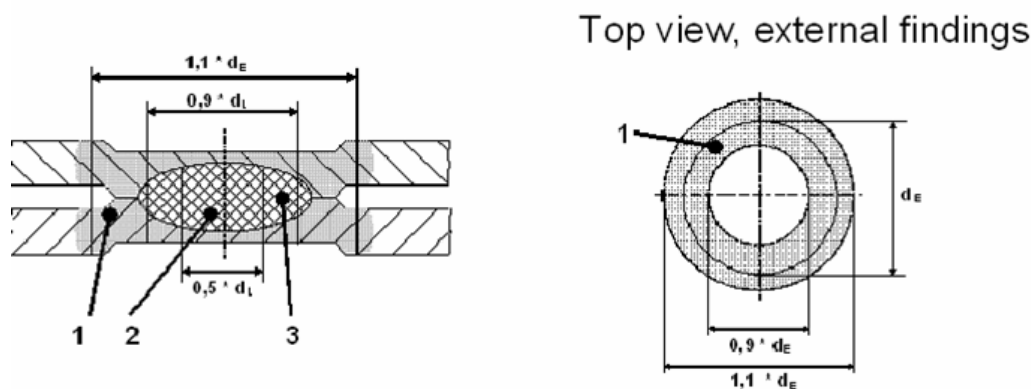


Figure A.1 – Supplementary definitions

### Legend


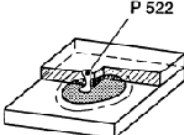
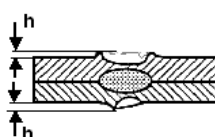
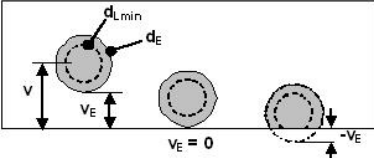
- $d_L$  Nugget diameter
- $d_E$  Indentation diameter
- 1 "Edge area" of the weld spot, from  $0,9 d_L$  to  $1,1 d_E$ , area of the weld spot which is relevant to strength
- 2 "Center" of nugget, area  $0,5 d_L$ , non-load-bearing area of the weld spot
- 3 "Transition area", from  $0,5 d_L$  to  $0,9 d_L$ , area between center and edge area

Other symbols:

$h$	General: size of an irregularity
$l$	Length of a crack in the microsection, equivalent to crack depth in the case of surface cracks
$t$	In limit value definitions*): wall thickness of the sheet in which the irregularity occurs
$t_L$	Nugget penetration depth
$t_r$	Residual wall thickness
$t_s$	Gap width
$t_{min}$	In case of different wall thicknesses: the smallest wall thickness
$v_E$	Edge distance of the electrode indentation, shortest distance from the component's edge

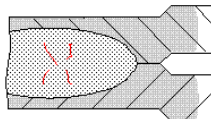
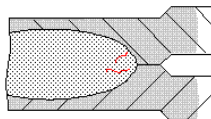
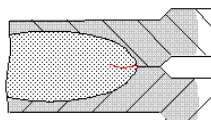
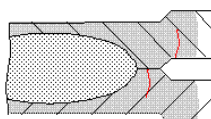
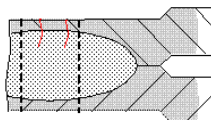
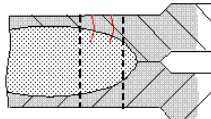
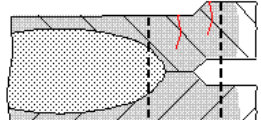

\*) The applicable limit values and irregularities are compiled in Table A.2, Table A.3 and Figure A.2.

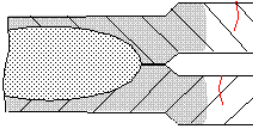
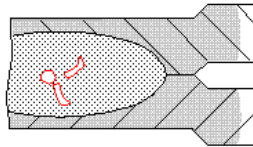
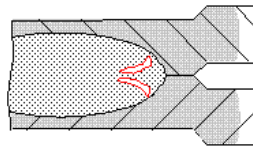
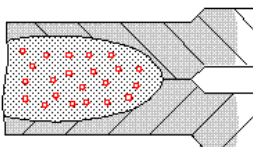
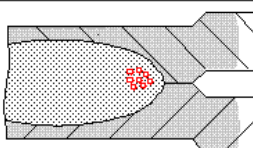
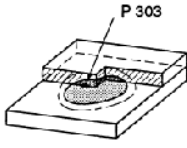
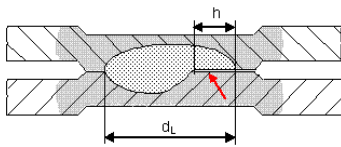
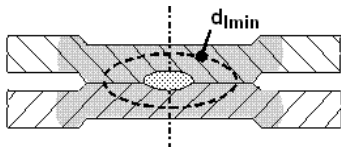
**Table A.2 – Limit values for irregularities on resistance-welded spots, external characteristics**

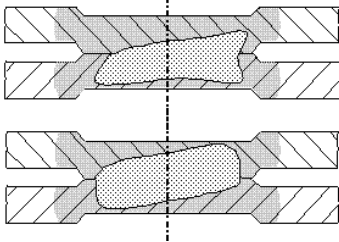
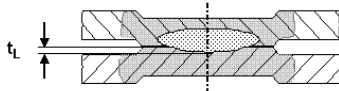
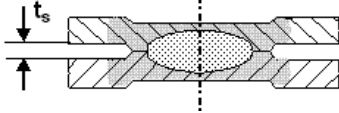
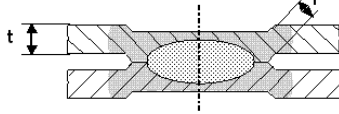
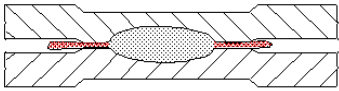
No	Ref. no. ISO 6520 -2	Designation	Note, sketch	Limit values for quality level		
				D	C	B
External characteristics						
01	16001 16002	Surface crack outside of and within the electrode indentation	Cracks that are visible without tools and without having to destroy the component are  	Permissible	Not permissible in the edge area	Not permissible in the edge area and outside the electrode indentation
02	522	Weld spot that has melted through the material on one side	Blind hole at the weld spot caused by material splashing out  	Permissible if all other requirements are fulfilled		
03	526	Irregularities of the electrode indentation, except protrusions	Dimples, material adhesions, indentation diameter, indentation depth, asymmetries, scorch marks	See specification of the surface quality classes OG1 to OG4		
04	5262	Protrusions	Material protrusions in the form of beads or burrs next to the electrode indentation  	Permissible if there are no sharp edges and if the requirements regarding the surface quality class (OG), corrosion protection, appearance and function are fulfilled		
05	602	Weld spatter	Spatter adhering tightly to the work-piece surface	Permissible if the requirements regarding the surface quality class (OG), corrosion protection, appearance and function are fulfilled		
06		Spot position	According to VW 01105-1 ( $e \geq e_{neb}$ ) or drawing	Deviations are permissible as long as the function of the component is not impaired		
07		Edge distance $v_E$ Nominal value: $v \geq 1,25 d_{Lmin}$		$v_E \geq 0$	$v_E \geq 1,0 \text{ mm}$	$v_E \geq 2,0 \text{ mm}$
*) Multi-sheet joints may exhibit higher contractions.						
ISO 6520-2, which is cited in column 2, is available as German standard DIN EN ISO 6520-2 in NOLIS.						



**Table A.3 – Limit values for irregularities on resistance-welded spots, internal characteristics**

No	Ref. no. ISO 6520 -2	Designation	Note, sketch	Limit values for quality level		
				D	C	B
Internal characteristics						
10	1100	Crack in nugget center		Permissible		
11	1200	Crack in edge area of the nugget		Permissible	Permissible up to $l \leq 0,2 t_{\min}$	Not permissible
12	1300	Crack in the nugget in the extension of the joining plane		Permissible up to $l \leq 0,5 t_{\min}$	Not permissible	
13	14001	Crack in the heat-affected zone, on the joining plane		Permissible up to $l \leq 0,2 t$	Not permissible	
14	14002	Crack in the heat-affected zone, on the electrode side	Crack position: center 	Permissible		Permissible, cracks extending all the way through the part not permissible
			Crack position: transition area 	Permissible	Permissible up to $l \leq 0,5 t$	Permissible up to $l \leq 0,25 t$
			Crack position: edge area 	Permissible up to $l \leq 0,5 t$	Permissible up to $l \leq 0,2 t$	Permissible up to $l \leq 0,2 t$ , but max. 150 μm
			Crack position: outside of edge area in the HAZ 	Evaluation analogous to "Crack in base material" (1500)		

No	Ref. no. ISO 6520 -2	Designation	Note, sketch	Limit values for quality level		
				D	C	B
15	1500	Cracks in base material		Permissible up to $l \leq 0,2 t$	Not permissible	
16	20111	Pore, oblong pore in nugget center		Permissible		
17	20112	Pore, oblong pore in edge area of nugget		Permissible	Not permissible if open towards the edge of the nugget in the joining plane	
18	2012	Porosity		Permissible	$\leq 15 \%$	$\leq 8 \%$
19	2013	Localized porosity		Permissible	Not permissible if open towards the edge of the nugget in the joining plane	
20	303 304	Inclusions	Metallic or oxidic inclusions 	Permissible as long as the function of the component is not impaired		
21	400	Lack of fusion	Crystalline connection missing in parts 	Permissible	Permissible if $d_{L \min}$ is complied with in the rest of the cross section, i.e. $(d_L - h) \geq d_{L \min}$	
22	401	No crystalline connection	No formation of weld nugget in joining plane	Permissible if function is not impaired	Not permissible	
23	5213	Nugget Ø too small	Desired dimension has not been met 	Permissible	Not permissible	

No	Ref. no. ISO 6520 -2	Designation	Note, sketch	Limit values for quality level		
				D	C	B
24	5215	Asymmetric nugget	Asymmetric shape and position of nugget 	Permissible if all other requirements are fulfilled		
25	5216	Nugget penetration depth too small, Desired dimension: $t_L \geq 0,20 \text{ mm}$	Desired dimension has not been met 	Permissible if function is not impaired	$0,1 \text{ mm} \leq t_L < 0,2 \text{ mm}$ permissible if all other characteristics are OK $t_L < 0,1 \text{ mm}$ permissible if other destructive tests yield OK results	$t_L < 0,2 \text{ mm}$ only permissible if other destructive tests yield OK results
26	525	Excessive gap, gap width $t_s$	Increased gap width between the welded workpieces 	Permissible if all other requirements are fulfilled		
27		Contraction of wall thickness in edge area of nugget	Applies to 2-sheet joints only *) 	$t_r \geq 0,50 t$	$t_r \geq 0,75 t$	$t_r \geq 0,85 t$
28	612	Pressed out material	Material pressed out into the joining plane, including spatter 	Permissible if all other requirements are fulfilled		

\*) Multi-sheet joints may exhibit higher contractions.

ISO 6520-2, which is cited in column 2, is available as German standard DIN EN ISO 6520-2 in NOLIS.

The following rules apply to the evaluation of irregularities in the transition area between center and edge area of the nugget, Figure A.2:

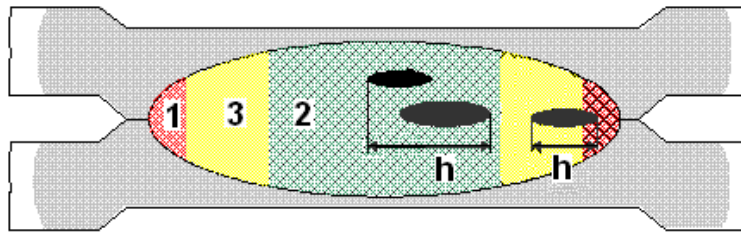


Figure A.2 – Evaluation of irregularities in the transition area between center and edge area of a weld nugget

**Legend**

- |   |                            |
|---|----------------------------|
| 1 | Edge area                  |
| 2 | Center                     |
| 3 | Transition zone            |
| h | Length of the irregularity |

**Requirements:**

1. The edge area must be OK acc. to Table A.3.
2. The sum of the irregularities in both transition area and center must not exceed  $0,5 d_L$ ,  $\Sigma h \leq 0,5 d_L$ .



# ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS INDUSTRIALES Y DE TELECOMUNICACIÓN

Titulación:

INGENIERO TÉCNICO INDUSTRIAL MECÁNICO

Título del proyecto:

CONTROL DE CALIDAD DE PUNTOS DE SOLDADURA  
MEDIANTE INSPECCIÓN POR ULTRASONIDOS

PROCEDIMIENTO DE CALIBRACIÓN  
PRÁCTICAS Y ENSAYOS DE LABORATORIO

Daniel Escuderos Ibáñez

Lucas Álvarez Vega

Pamplona, 10 de septiembre 2010



## CONTENIDO

---

- Calibración del palpador específico N20 S5,0W-SN5104
- Prácticas y ensayos de laboratorio

## Calibración del palpador específico N20 S5,0 W-SN5104



Para poder llevar a cabo una correcta inspección es necesario comprobar que nuestro aparato está debidamente preparado para medir espesores, pues es un dato fundamental para comprobar si se ha efectuado una buena unión entre chapas, si esto es así, la distancia entre ecos de fondo tiene que ser algo inferior al espesor total de la muestra.

Por otro lado es necesario también ajustar el retardo del transductor que es provocado por la columna de agua de su interior, esto es necesario para poder tener una resolución adecuada que permita realizar correctamente la inspección; en nuestro caso se desconoce el valor de dicho retardo. El retardo se ajusta según el rango que determinemos. Como sabemos el rango depende del espesor total de la chapas a unir.

Revisando algunos procedimientos que hacen referencia a la calibración de este tipo de equipos, se ha encontrado dos métodos de calibración:

1. Calibración de punto único: Se conoce la velocidad del sonido en el objeto de ensayo o está disponible un bloque de referencia hecho del material correspondiente. Este procedimiento de calibración sólo implica cambiar el valor de la línea de retardo.



2. Calibración de punto doble: No se conoce la velocidad del sonido del material ni la línea de retardo del palpador, sin embargo existe un bloque de referencia disponible del material correspondiente.

Para nuestra máquina usaremos el primer método, pues conocemos la velocidad de propagación y aunque no se dispone de bloque de calibración hecho del mismo material de las probetas; podemos comprobar si los espesores que se determinan son correctos mediante un calibre.

La calibración entonces se efectúa en dos etapas:

1ª) Etapa: Cálculo del retardo debido a la columna de agua

Desconocemos el valor de retardo para este palpador. Para determinarlo colocamos este sobre una zona no soldada de la probeta e introducimos la velocidad de propagación del sonido en el acero (5,92 m/s), a continuación ponemos a 0 el valor de retardo y el offset. En cuanto al rango, ponemos un valor de 200mm.

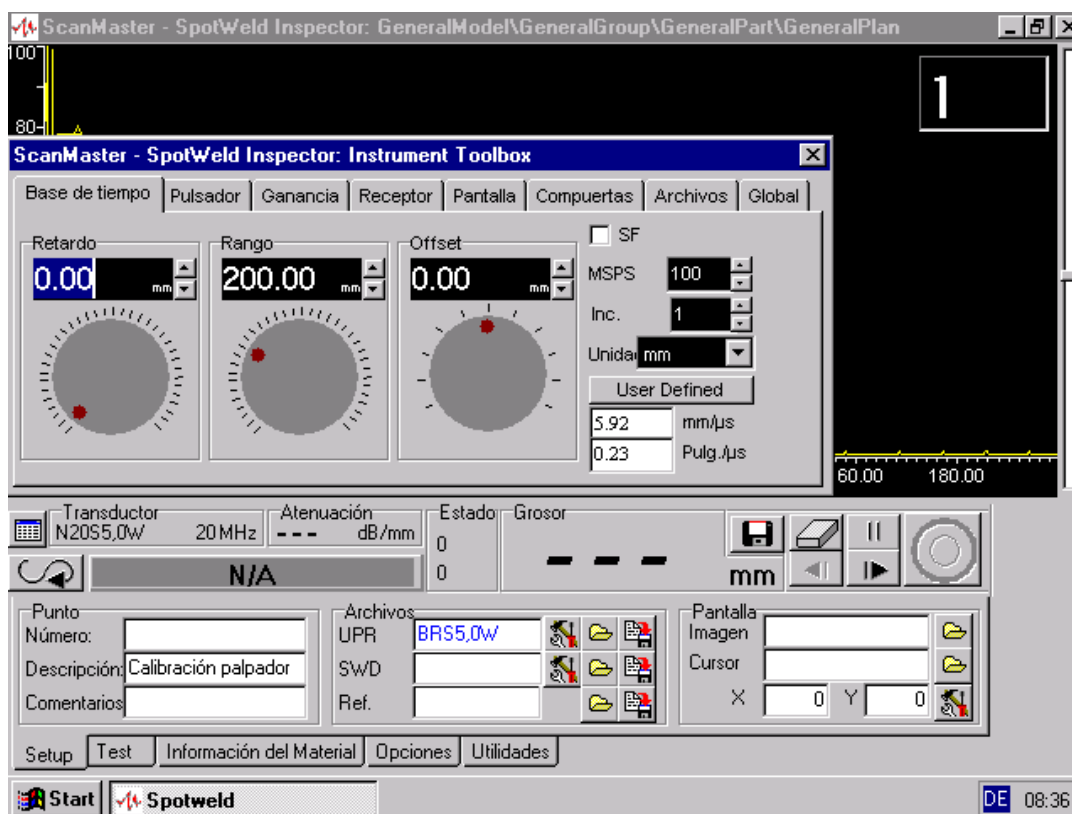


Figura 1. Calibración retardo del palpador. Puesta a cero

Manteniendo una ganancia media de unos 45 dB, medimos con la regla, la distancia aproximada entre el último eco de fondo que se genera y el siguiente eco de emisión. Ese valor será aproximadamente, el valor de retardo del transductor.

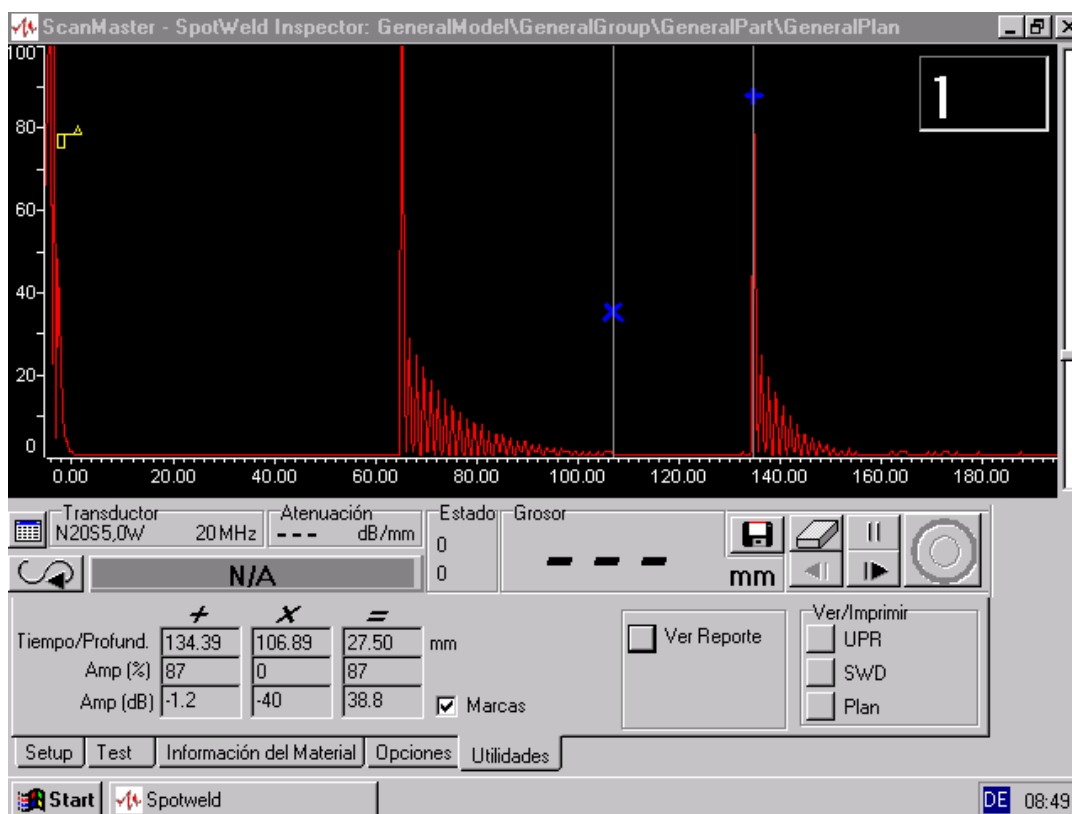


Figura 2. Medición del retardo aproximado con las marcas

Como se aprecia en la figura 2; la medida de las dos marcas da 27,50 mm. Eso significa que el retardo que presenta el transductor está en torno a esa cifra.

Para afinar más, ajustamos el valor del rango en función del espesor total de las chapas. Recordemos que es aproximadamente entre 10-15 veces el espesor. Hemos considerado una medida de 36mm, es decir unas 12 veces el grosor total de la probeta.

Volvemos a colocar el transductor sobre la chapa e incrementamos el valor del retardo hasta que nos aparezca claramente el 1º eco de emisión desde la parte derecha de la pantalla.

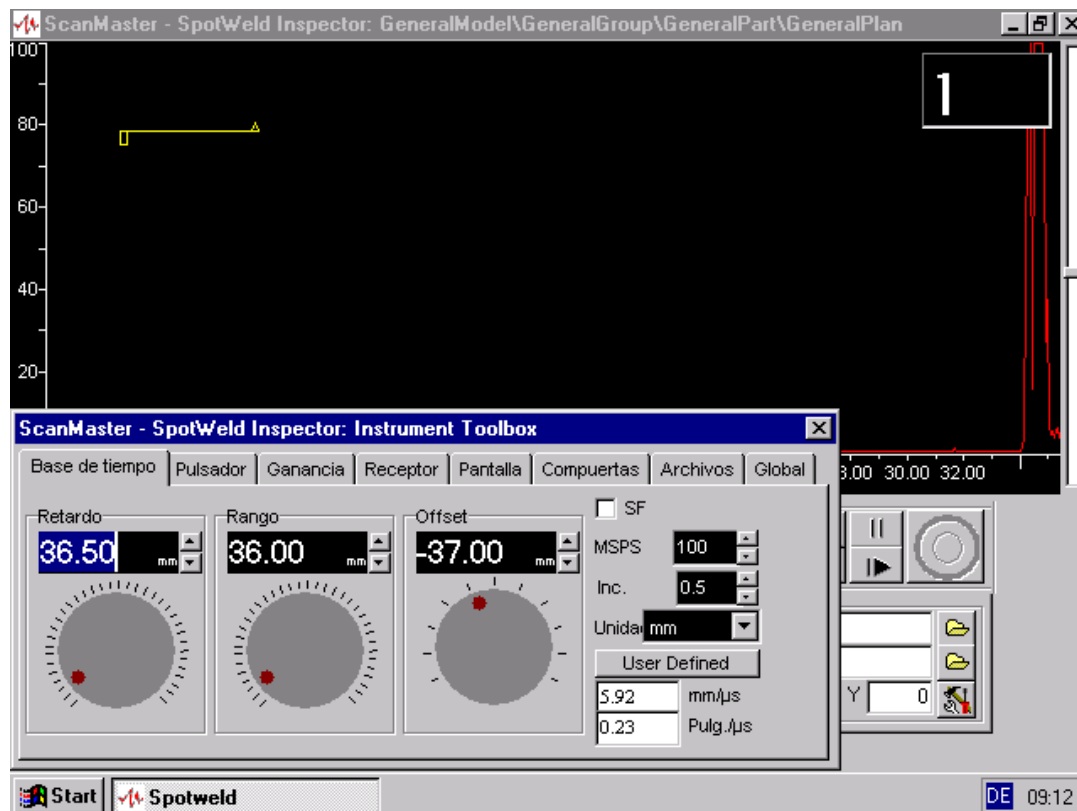


Figura 3. Ajuste exacto del retardo a través del primer eco de emisión

Subimos el valor de retardo inicial hasta los 36,5mm. Y activamos la casilla SF para desplazar el eco de emisión hasta el origen de coordenadas. También ajustamos el offset para definir bien el cero (-37 mm.) Ahora ya tenemos el palpador preparado para una correcta inspección del punto.

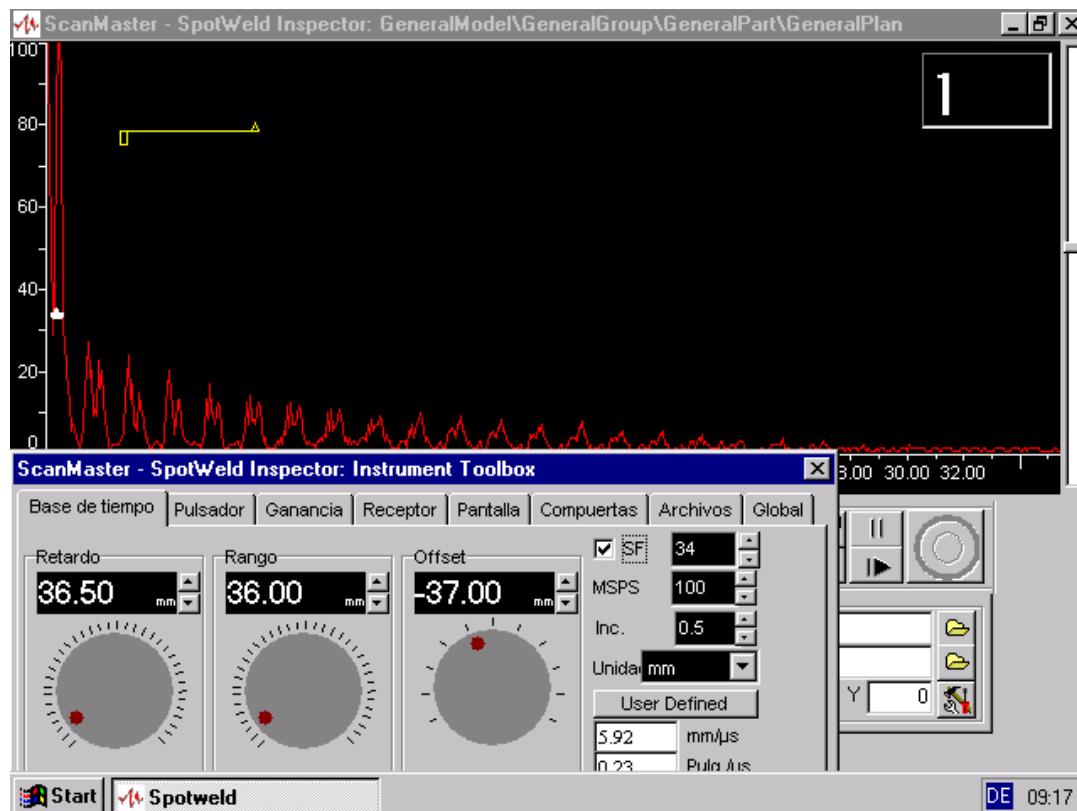


Figura 4. Activación SF

## 2ª) Etapa: Comprobación de la medida de espesores

Como ya sabemos, la distancia entre ecos de fondo sucesivos es una de las maneras que tenemos para comprobar el estado de un punto de soldadura. No disponemos del patrón en escalera (véase figura 5) hecho del material de las probetas, por lo tanto no lo hemos usado para comprobar la medida de espesor que muestra la máquina. En lugar de ello se ha colocado el transductor ya con su retardo calibrado en una zona no soldada de la muestra.

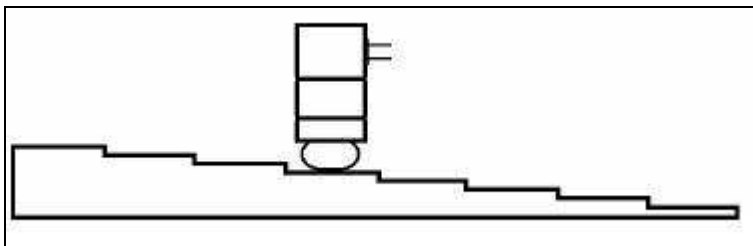


Figura 5. Bloque patrón tipo escalera

La señal que se obtiene es por tanto, una sucesión de ecos de fondo de la 1ª chapa con su correspondiente eco de emisión. Midiendo la distancia entre picos de dos ecos sucesivos de fondo comprobamos que es aproximadamente el espesor unitario de la chapa y se contrasta con la medida proporcionada con un calibre o pie de rey. En la imagen vemos que nos da una medida de 1,42mm.

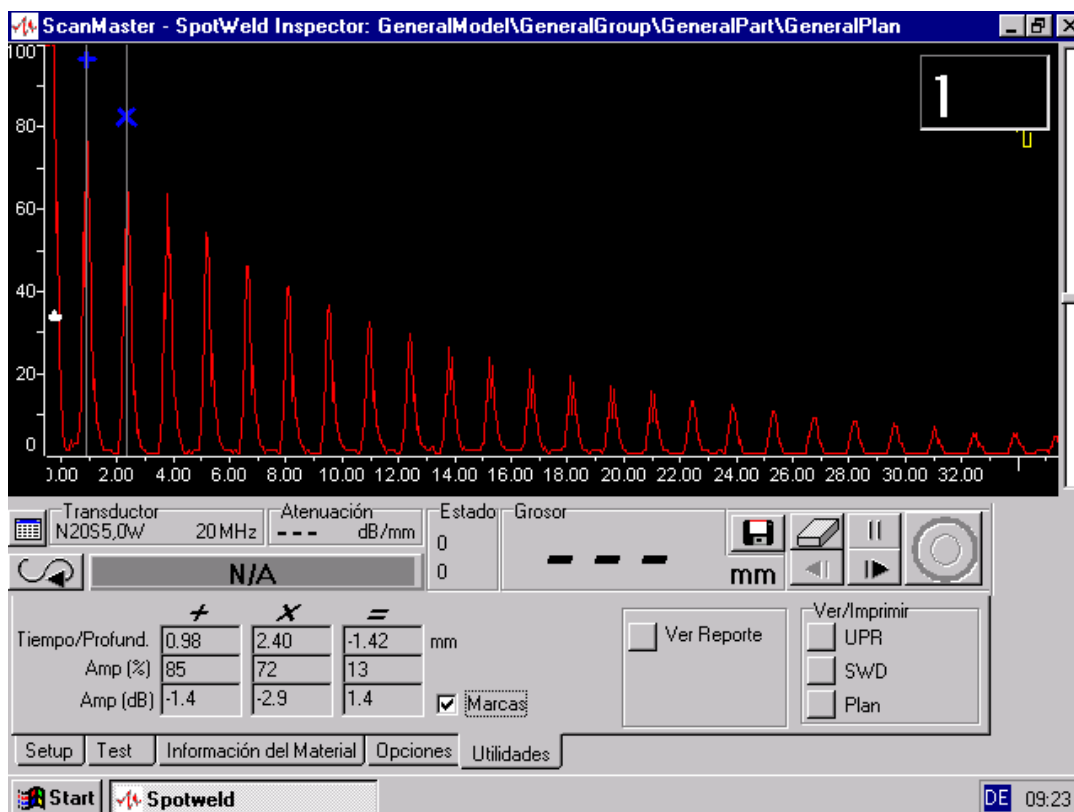


Figura 6. Comprobación medida espesores

Si contrastamos la medida obtenida, con la de un calibre, vemos que el error es de 7 centésimas (1,49mm.). Ello es perfectamente asumible debido a que la calidad de acabado superficial de la chapa galvanizada que componen las probetas presenta cierta rugosidad y el espesor de esa capa de zinc no es totalmente uniforme. Este resultado corrobora la correcta calibración del retardo para el rango que hemos establecido.



Figura 7. Comprobación de medida con calibre

### 3ª etapa) Calibración de la compuerta y parámetros SWD

La compuerta es el segmento que determina cuando se debe congelar la imagen y realizar un autodiagnóstico según los parámetros del SWD que hemos establecido.

Fijamos el retardo del segmento teniendo en cuenta el espesor unitario de la chapa, de este modo indicamos al programa que no detecte ecos fallidos si no hemos atravesado al menos una de las chapas a soldar, se fija en 2 mm.

Ajustamos el rango en función del espesor de la muestra. Y la altura del segmento al 80% de la altura total de la pantalla.

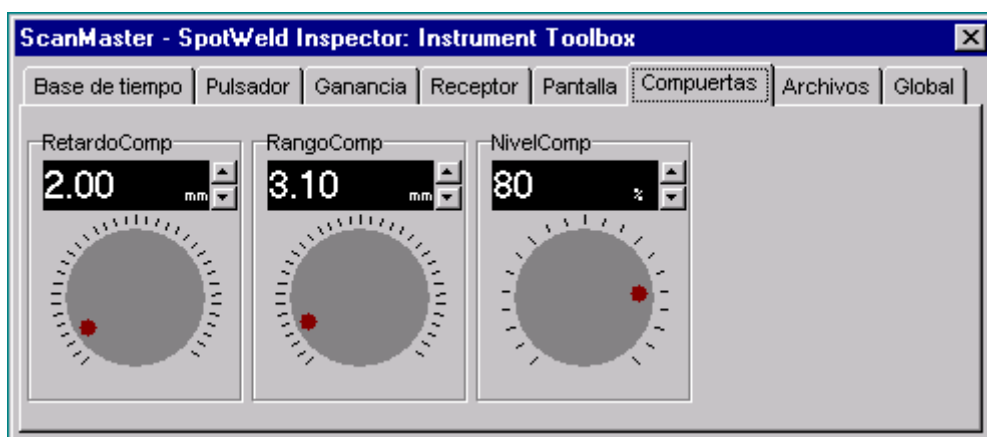


Figura 7. Ajuste parámetros compuertas

En pantalla quedaría en la posición que se muestra en la figura 8

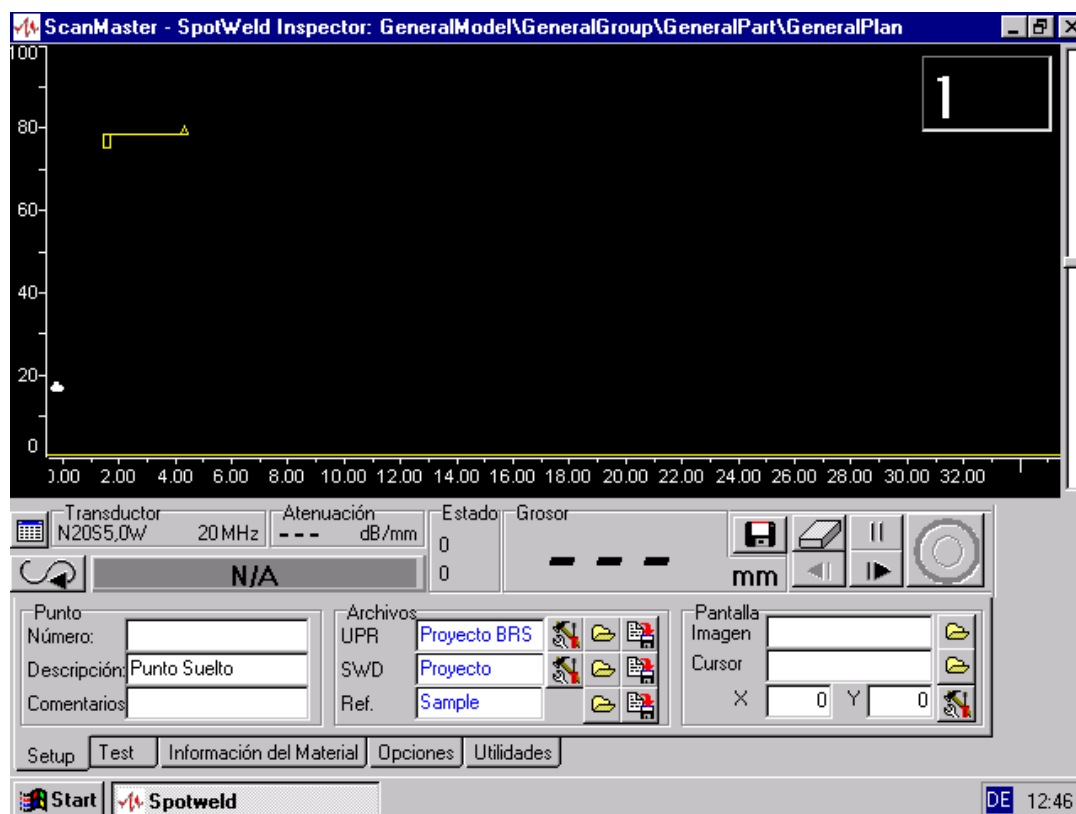
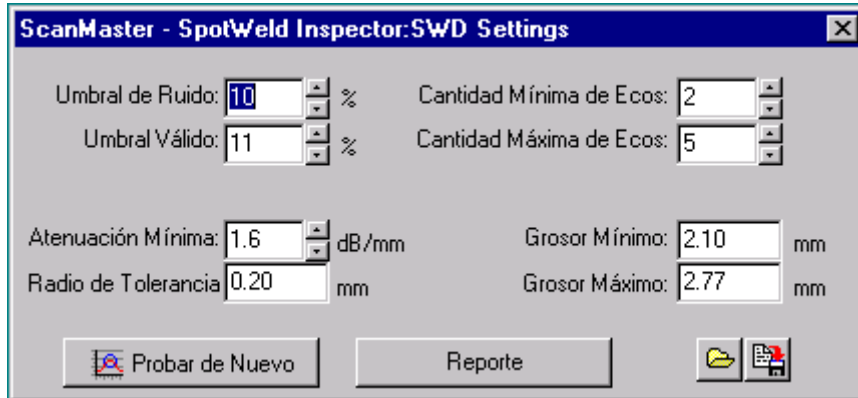


Figura 8. Ajuste posición compuerta



En cuanto a la configuración del SWD se han fijado los siguientes parámetros:




ScanMaster - SpotWeld Inspector:SWD Settings	
Umbral de Ruido: 10 %	Cantidad Mínima de Ecos: 2
Umbral Válido: 11 %	Cantidad Máxima de Ecos: 5
Atenuación Mínima: 1.6 dB/mm	Grosor Mínimo: 2.10 mm
Radio de Tolerancia: 0.20 mm	Grosor Máximo: 2.77 mm
<div>Probar de Nuevo      Reporte      </div>	

Figura 9. Ajuste parámetros SWD.

El ajuste de estos parámetros resulta determinante para que el programa indique correctamente el nivel de calidad de soldadura que estamos inspeccionando. Indicar que los valores de atenuación mínima y el radio de tolerancia son los preestablecidos por el fabricante.



Tabla valores específicos UPR y SWD usados:

valores de parametros de UPR	
File: D:\Program Files\ScanMaster\SpotWeld\UPR\Proyecto BR55.0w.UPR	
<b>Base de tiempo</b> Retardo: 36.50 mm Rango: 36.00 mm Offset: -37.00 mm	<b>Receptor</b> Filtro: 20 MHz
	<b>Global</b> PRF: 2200 Hz
<b>Compuerta</b> Nivel: 80 % Retardo: 2.00 mm Rango: 3.10 mm	MSPS: 100 MHz SF: 17
<b>Ganancia</b> Prescale: 42 dB Línea Base: 1 % Total: 48.0 dB	<b>Velocidad de Material</b> mm/ $\mu$ s: 5.92 Pulg./ $\mu$ s: 0.23
	<b>Pulsador</b> Ancho: 21 ns

Archiv: D:\Program Files\ScanMaster\SpotWeld\SWD\Proyecto.SWD	
Umbral de Ruido: 10 % Umbral Válido: 11 %	Cantidad Mín Ecos: 2 Cantidad Máx Ecos: 5
Atenuación Mínima: 1.6 dB/mm Radio de Tolerancia 0.20 mm	Grosor Mínimo: 2.10 mm Grosor Máximo: 2.77 mm



## Prácticas y ensayos de laboratorio

---

### 1. Resumen

El presente documento trata de comprobar la operatividad de la máquina de inspección de puntos de soldadura ScanMaster swi-100 UPI 50 spotweld inspector, la cual está disponible en las instalaciones de KWD España S.A.U.

Para tal fin se realiza una batería de probetas de dimensiones normalizadas en las cuales se reproduce la defectología que con la máquina somos capaces de pronosticar a través del método impulso-eco.

La práctica consiste entonces en encontrar un oscilograma tipo que indique el defecto que presente la probeta en cada caso.

Posteriormente, con el propósito de validar y evidenciar que la experiencia anterior se ha hecho de manera correcta se someten las probetas a ensayo de tracción con cizalladura, ensayo de desbotonadura y ensayo metalográfico de acuerdo a la normativa interna de VW 01155 y procedimiento PV 6702. Ambos documentos vigentes y de obligado cumplimiento para el grupo automovilístico VW y sus proveedores.

Se ha establecido entonces 4 niveles principales de calidad: Punto bueno, punto pequeño, punto pegado, punto quemado.

### 2. Objetivo

Se propone como objetivo, el establecimiento de un oscilograma tipo asociado a la calidad real del punto de soldadura con una buena correlación entre ellos. Su validación se realiza mediante ensayos de carácter destructivo, son tres:

- Ensayo de tracción con cizalladura: Su finalidad es la comprobación de la resistencia mecánica máxima de la unión en función de la calidad asignada.
- Ensayo de desbotonadura: Tiene el objeto de comprobar visualmente el grado de soldabilidad obtenido en cada probeta midiendo directamente mediante calibre digital el  $\emptyset$  de lenteja
- Micrografía: Visualización de la estructura de grano interna de cada punto ensayado así como también de la zona afectada térmicamente.



### 3. Equipamiento

Para la elaboración del presente trabajo, hemos hecho uso de los siguientes equipos:

#### Equipo de soldadura por resistencia

Se utiliza una pinza industrial manual de refrigeración por agua Marca ARO XM con accionamiento neumático y regulación de amperaje y de tiempo de paso de la corriente eléctrica de soldadura. El agua de refrigeración se toma de la instalación hidráulica general para todas las células.

#### Equipo de inspección ultrasónica

El equipo que se ha utilizado es un generador de ondas ultrasónicas modelo Scanmaster modelo swi-100 UPI 50 spotweld-inspector. (Véase características técnicas en apartado anexos.)

#### Palpadores

El tipo de palpador usado es específico para inspecciones de puntos de soldadura, es de retardo por columna de agua. La elección del diámetro del cristal piezoeléctrico se realizó atendiendo al diámetro mínimo requerido en función del espesor del material (VW 01155):

Espesor mínimo probetas ( $d_1$ ) = 1,5mm.

$$\varnothing \text{ palpador} = 1,15 * 3,5x\sqrt{1,5} = 4,92 \text{ mm.}$$

Si utilizamos la fórmula aconsejada por el fabricante, tenemos que:

$$\varnothing \text{ palpador} = 4x\sqrt{d_1} = 4x\sqrt{1,5} = 4,89 \text{ mm.}$$

Atendiendo a los resultados, el palpador escogido es el denominado N20 S5,0W-SN5104 cuyo  $\varnothing$  cristal = 5mm. (Véase fotografías adjuntas)

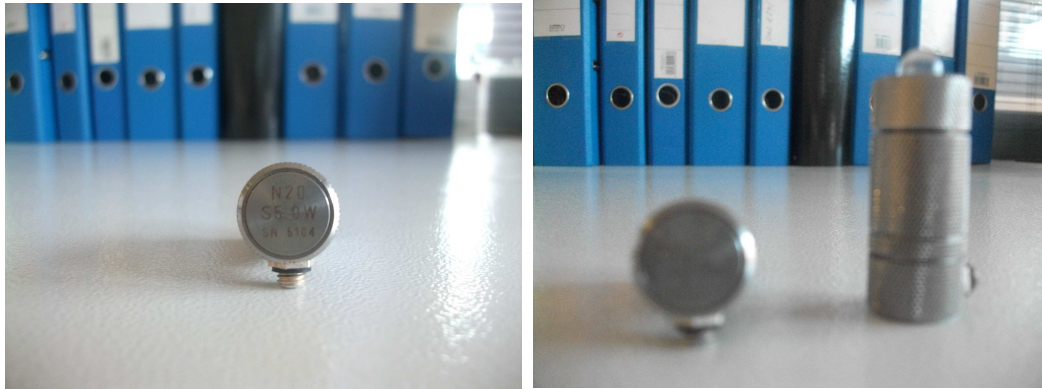


Figura.1 Modelo de transductor seleccionado

### Máquina ensayos de tracción

La máquina de ensayos SERVOSIS ME402/5 (figura 6.2), capaz de aplicar cargas axiales de hasta 50KN se utilizó para realizar el ensayo de tracción con cizallamiento destinado a validar mecánicamente la clasificación de los puntos de soldadura.

### Otros instrumentos

- Microscopio digital MOTIC DM- 143
- Máquina de empastillado para metalografías REMET Ipa 30

#### 4. Caracterización del acero de las probetas

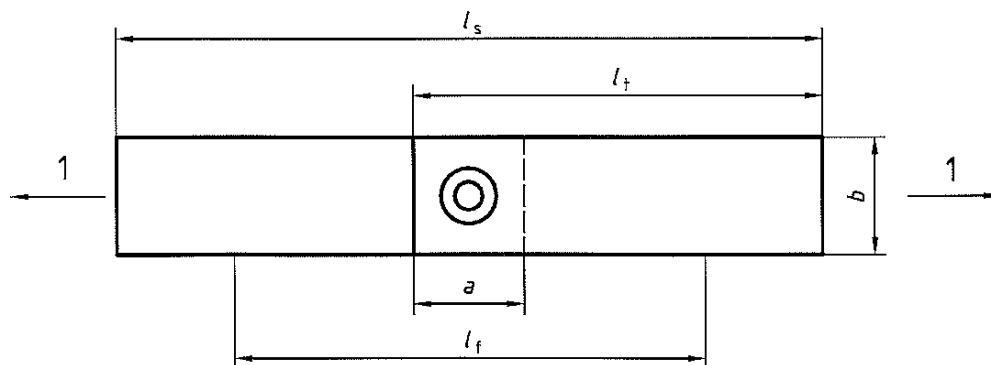
El material de las probetas utilizadas para la clasificación de los defectos es el mismo con el que se fabrica la pieza túnel en KWD, se trata de chapa galvanizada en caliente de alto límite elástico tipo (hot-dip zinc coating) **DX53D + Z100** laminada en frío (véase Informe de sustancias de conjuntos y materiales en apartado anexos.)

Las propiedades mecánicas que presentan son:

- Límite elástico: 120-180 Mpa
- Resistencia a tracción: 140-260 Mpa
- % mínimo alargamiento a rotura: 39%

#### 5. Procedimiento experimental

Se realizaron unos 40 puntos de soldadura en total, para que el tamaño de la muestra fuera suficiente y se pudiera seleccionar entre ellos, los puntos buenos, puntos pequeños, puntos pegados y puntos quemados. Estas probetas tienen aproximadamente las dimensiones contempladas para el ensayo de tracción con cizalladura UNE 14273:2002 (espesor entre 1,5 y 3mm) y se obtuvieron por corte a radial de una de las piezas que se utilizan como materia prima en la fabricación del túnel, como se ha citado anteriormente.



Espesor $t$	Desbordamiento $a$	Anchura de la probeta $b$	Longitud de la probeta $l_s$	Longitud libre entre mordazas $l_f$	Longitud de los cupones individuales de ensayo $l_t$
$0,5 \leq t \leq 1,5$	35	45 (30)	175	95	105
$1,5 < t \leq 3$	46	60 (30)	230	105	138
$3 < t \leq 5$	60	90 (55)	260	120	160
$5 < t \leq 7,5$	80	120 (80)	300	140	190
$7,5 < t \leq 10$	100	150 (100)	320	160	210

<sup>a</sup> Las cifras entre paréntesis ofrecerán aproximadamente una reducción de la fuerza del 10% y estas anchuras pueden usarse sólo si así lo acuerdan el fabricante y el cliente.

Para poder obtener estos niveles de calidad se controlaron las siguientes variables operativas:

1. Tipo de electrodo (definido por la aleación base cobre del que está fabricado), se trata de cap modelo B-20 (aleación de Cobre, Cromo y Zirconio) apropiado para chapa galvanizada de 1,5mm de espesor.



Figura. 2

2. Presión de los electrodos asegurando una fuerza constante en puntas

3. Intensidad de corriente. Los valores amperimétricos de intensidad usados oscilan entre los 6 y los 13 kA a una frecuencia normal de red de 50Hz. Por lo que un ciclo o periodo equivale a 0,02 segundos.

4. Tiempo de soldadura principal. Corresponde al tiempo durante el cual circula la corriente de soldadura.

5. Tiempo previo de apriete. Tiempo que transcurre desde el pisado de los electrodos hasta el inicio de la corriente de soldadura.

6. Tiempo de forja. Tiempos de mantenimiento de la presión después de que cese el paso de corriente.

7. Caudal de agua del circuito de refrigeración. Se obtiene una lectura de 12,5 l/min. Se mantiene estable durante todas las pruebas.

Para a la obtención de la defectología deseada o los niveles de calidad, en este trabajo se decidió únicamente **actuar variando la intensidad de corriente** de paso principal y manteniendo fijas el resto de las variables. Debido a los siguientes motivos:

- El tipo de electrodo es el adecuado para la realización de puntos de soldadura en chapas de 1,5mm. de espesor.
- La presión de los electrodos se ha mantenido con un valor fijo porque es una de las variables de entrada en las pinzas de soldadura. Esto significa que si no conseguimos una determinada presión; el control no abre el paso de corriente hacia los electrodos.
- A no ser que el departamento de calidad estime que es necesario, y teniendo en cuenta las exigencias de producción, teóricamente no se puede modificar el tiempo de soldadura ya que influye directamente en el tiempo de ciclo de las máquinas.





En cuanto a las probetas realizadas, se seleccionaron 4 grupos de probetas con 4 niveles de calidad, cada grupo estaba formado por 4 probetas realizadas con los mismos parámetros o valores. El motivo de tener 4 probetas en cada grupo fue el siguiente:

- Obtener con una de ellas el oscilograma tipo asociado al defecto y después realizar su correspondiente desbotonadura.
- La segunda muestra se hizo para someterla a ensayo metalográfico que permitiese comprobar su grado de fusión y su estructura interna al microscopio.
- La tercera muestra que obtuvimos se usó para determinar aproximadamente la carga máxima axial que puede soportar.
- Finalmente la cuarta muestra se reservó en caso de tener que repetir alguna prueba.



## 6.7 Resultados y análisis

### Grupo de probetas I.1: Soldadura OK

*Parámetros utilizados:*

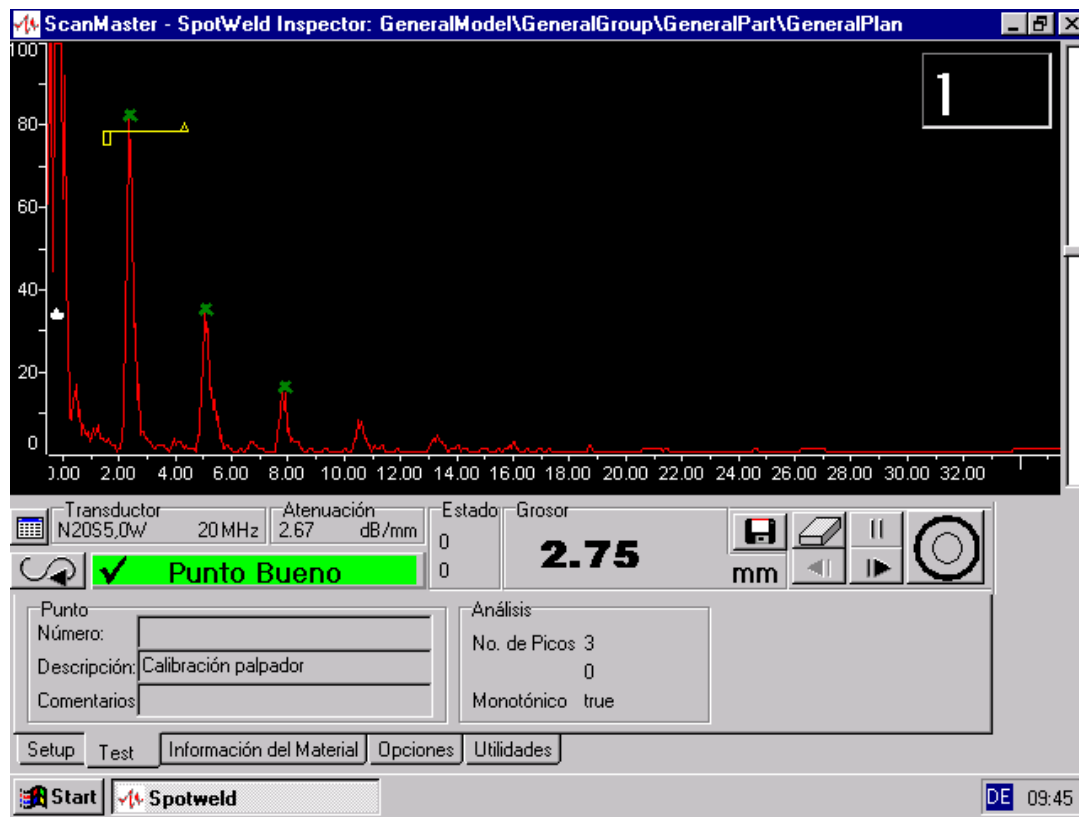
Fuerza electrodos (KN)	<b>1,5 KN</b>
Intensidad Corriente (kA) / nº impulsos	<b>9kA / 1</b>
Tiempo previo (periodos)	<b>20</b>
Tiempo de paso (periodos)	<b>18</b>
Tiempo de forja (periodos)	<b>20</b>



*Aspecto visual:*



Gráfico obtenido:



- **Atenuación:** Se aprecia un valor de atenuación alto (2,67dB/mm.) y la caída que se produce entre el primer y el segundo eco de fondo es de un 53% aproximadamente lo que significa que ha habido una buena penetración en la soldadura, esta al producirse, hace que el tamaño de grano en esa zona aumente con respecto a una zona no soldada. Recordemos que ha mayor tamaño de grano, mayor atenuación.
- **Separación entre ecos sucesivos:** Está dentro del rango aceptable, su valor es de 2,75mm. algo inferior al tamaño total de la muestra.
- **Presencia ecos intermedios de defecto:** No se han obtenidos ecos de defecto, lo que significa que el diámetro de la lenteja obtenida es correcto, se comprueba con la desbotonadura.



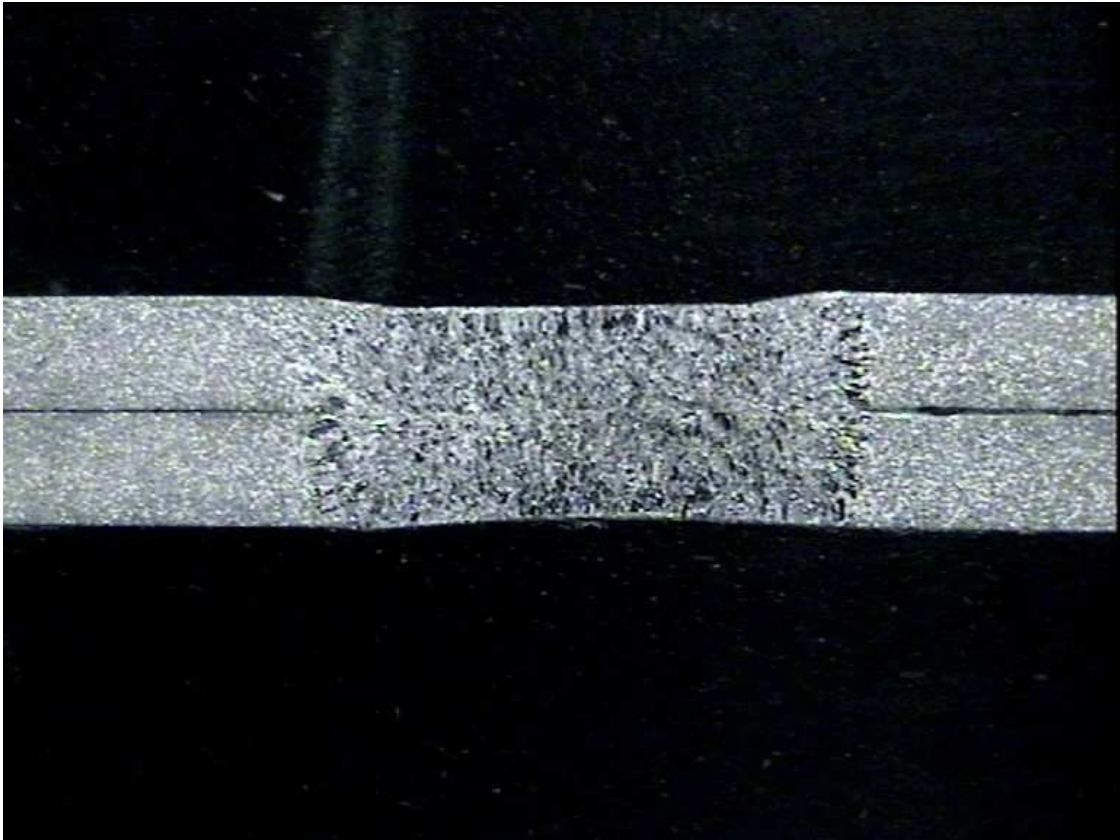
*Ensayo desbotonadura:*

Medición Ø lenteja (dp) por desbotonadura:

$$d_p = \frac{d_1 + d_2}{2} = \frac{7,33 + 7,22}{2} = 7,275mm. > 4,92 \text{ luego OK}$$

*Ensayo metalográfico:*

- Ataque con Nital al 4%.



El la micrografía del punto OK se observa que ha habido una buena fusión entre las dos chapas ya que ha habido un cambio apreciable en la microestructura, pues se ha visto incrementado el tamaño de grano después del proceso de calentamiento. En cuanto a la indentación o huella de soldadura, vemos que en la zona superior es más uniforme o al menos hemos tenido algo más de deformación de material.



*Ensayo de tracción con cizalladura:*

- Velocidad de ensayo: 0,16mm/s
- Carga máxima soportada a rotura: 872 Kgf = **8554 N**

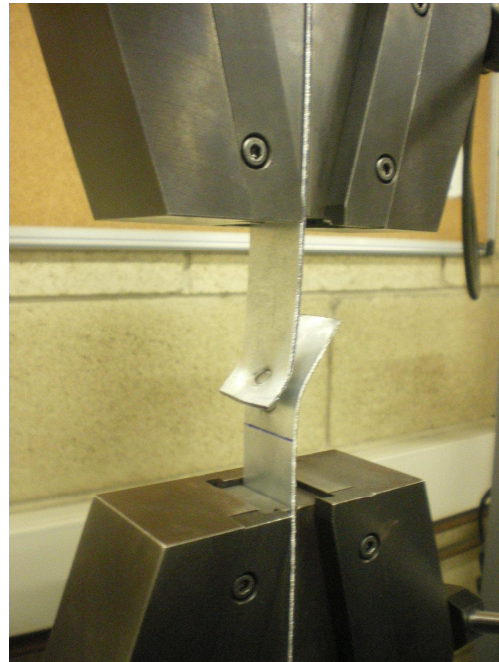
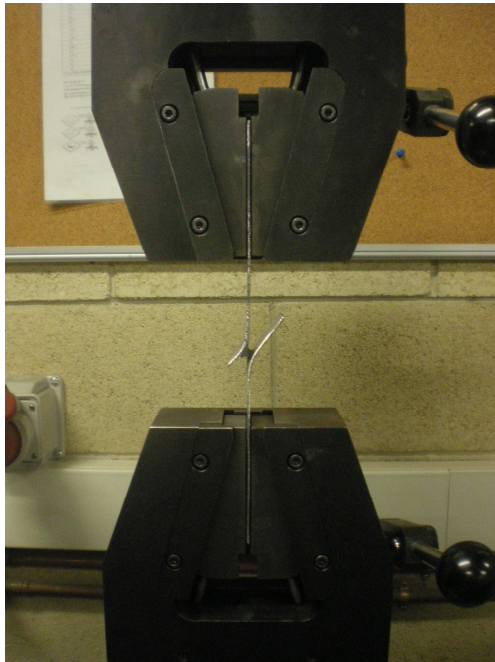


Figura. 3 y 4 Detalle estado final de probeta punto ok tras ensayo de tracción





## Grupo de probetas I.2: Lenteja pequeña

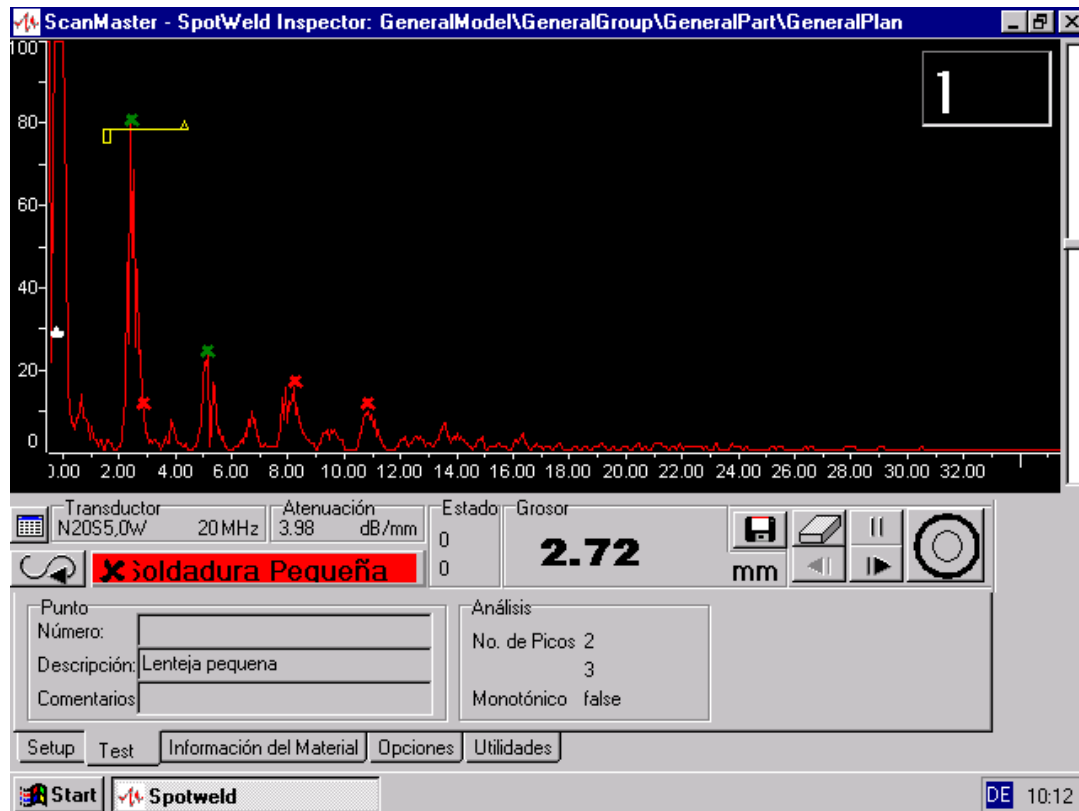
*Parámetros utilizados:*

Fuerza electrodos (KN)	<b>1,5 KN</b>
Intensidad Corriente (kA) / nº impulsos	<b>6 kA / 1</b>
Tiempo previo (periodos)	<b>20</b>
Tiempo de paso (periodos)	<b>18</b>
Tiempo de forja (periodos)	<b>20</b>

*Aspecto visual:*



Grafico obtenido:



- **Atenuación:** La atenuación que presenta es muy alta (3,98dB/mm.) y es indicio de que ha habido una buena penetración, la caída de eco es de un 65% ello explica que únicamente haya aparecido 2 ecos de fondo significativos.
- **Separación entre ecos sucesivos:** La gráfica muestra una distancia entre ecos válidos de 2,72mm. pero no se puede garantizar un buen grosor de lenteja a nivel general.
- **Presencia ecos intermedios de defecto:** Aparecen 3 ecos intermedios que superan el 11% de altura de pantalla, es decir el límite que se ha fijado para considerar ecos secundarios como ecos de defecto, significa que el diámetro de la lenteja es inferior al correcto. Además tienen la típica forma en sombrero de napoleón.



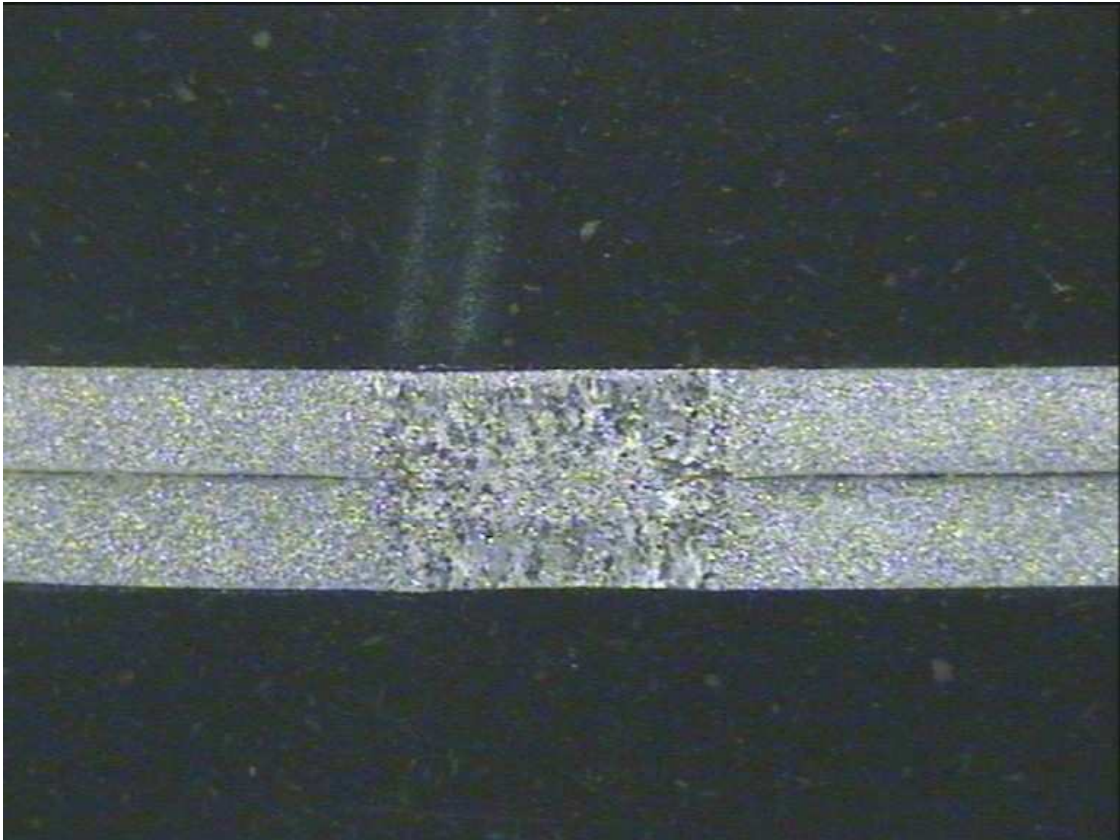
*Ensayo desbotonadura*

Medición Ø lenteja (dp) por desbotonadura:

$$d_p = \frac{d_1 + d_2}{2} = \frac{3,30 + 2,83}{2} = 3,065mm. < 4,89 \text{ luego no OK}$$

*Ensayo metalográfico:*

- Ataque con Nital al 4%.



La micrografía de punto pequeño, se aprecia claramente que la zona de fusión es más estrecha en el punto ok, además el espesor de la lenteja es mucho menor, así como su diámetro. Se puede apreciar mejor las 3 zonas afectadas térmicamente y típicas de la soldadura por puntos; material base, una zona afectada térmicamente y la lenteja en cuestión formada por material de las dos chapas.

En cuanto a la huella de soldadura, está es casi inexistente, lo que denota que la intensidad de corriente en combinación con la presión de los electrodos, no ha generado la resistencia necesaria para reblandecer la zona y generar una buena indentación.



*Ensayo de tracción con cizalladura:*

- Velocidad de ensayo: 0,16mm/s
- Carga máxima soportada a rotura: 540 Kgf = **5297 N**

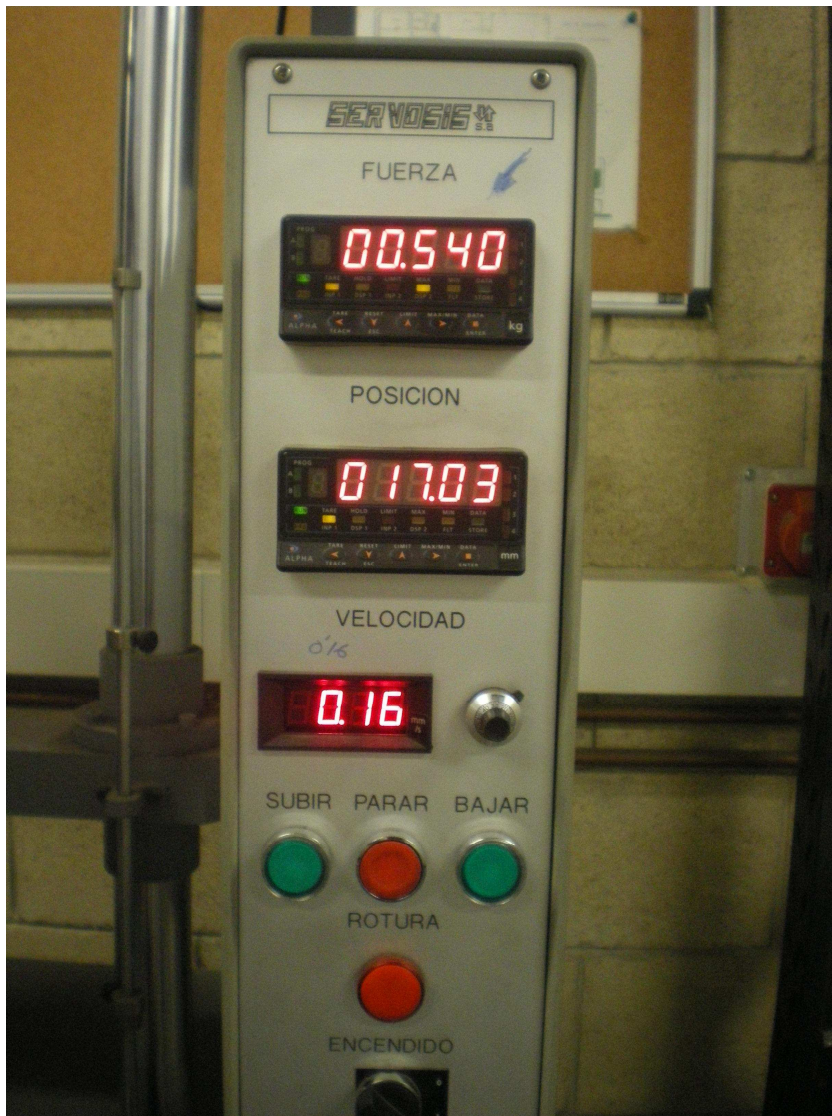


Figura. 5 Detalle displays de fuerza (kgf), posición (mm.) y velocidad (mm/s)



### Grupo de probetas I.3: Punto pegado (Cladding)

*Parámetros utilizados:*

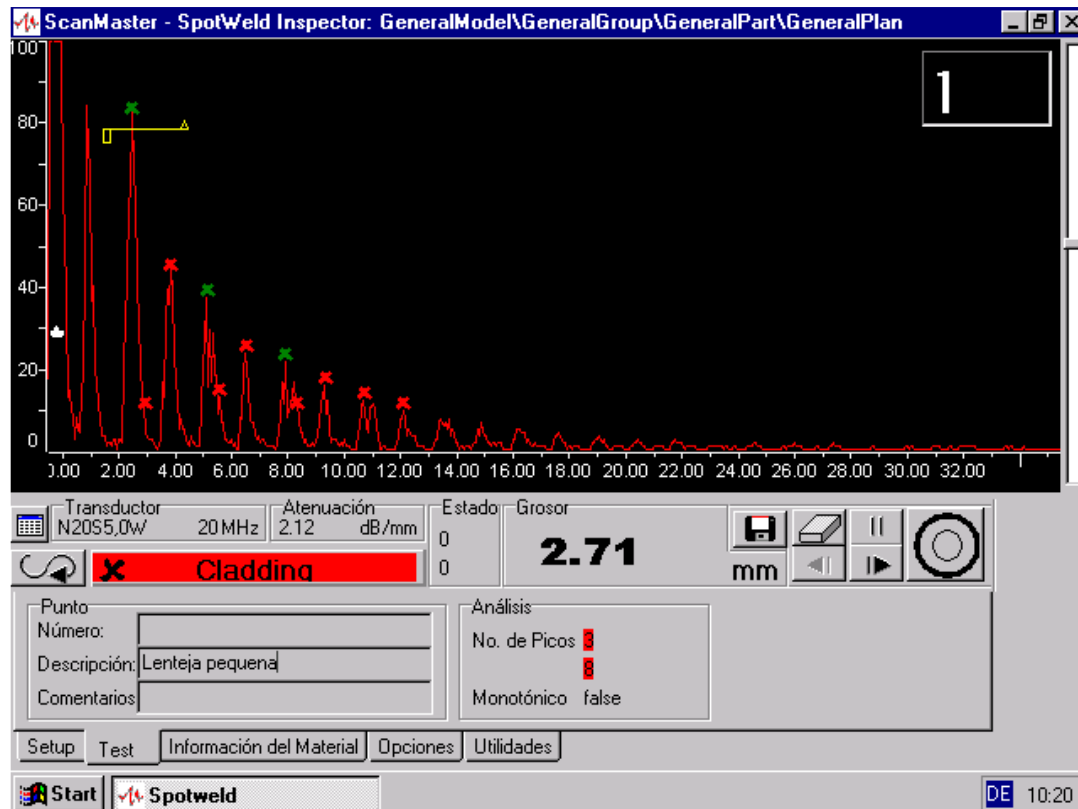
Fuerza electrodos (KN)	<b>1,5 KN</b>
Intensidad Corriente (kA) / nº impulsos	<b>5,5kA / 1</b>
Tiempo previo (periodos)	<b>20</b>
Tiempo de paso (periodos)	<b>18</b>
Tiempo de forja (periodos)	<b>20</b>



*Aspecto visual:*



Grafico obtenido:



- **Atenuación:** Se aprecia un valor de (2,12 dB/mm.) Cifra que se considera insuficiente como para dar por válido un punto, significa que el tamaño de grano no es muy grande y atenúa muy poco el sonido. No ha habido un calentamiento de la zona fusionada que provoque el crecimiento de grano.
- **Separación entre ecos sucesivos:** La gráfica muestra un grosor de 2,71mm. para los ecos de fondo (ecos verdes).
- **Presencia ecos intermedios de defecto:** Entre ecos de fondo aparecen un buen número ecos secundarios que muestran la señal típica de un punto con poca fusión, además se da la característica de que aparece otra serie de ecos secundarios similares al de una lenteja pequeña, estamos entonces ante un caso de punto pegado pero con algo de formación de lenteja.



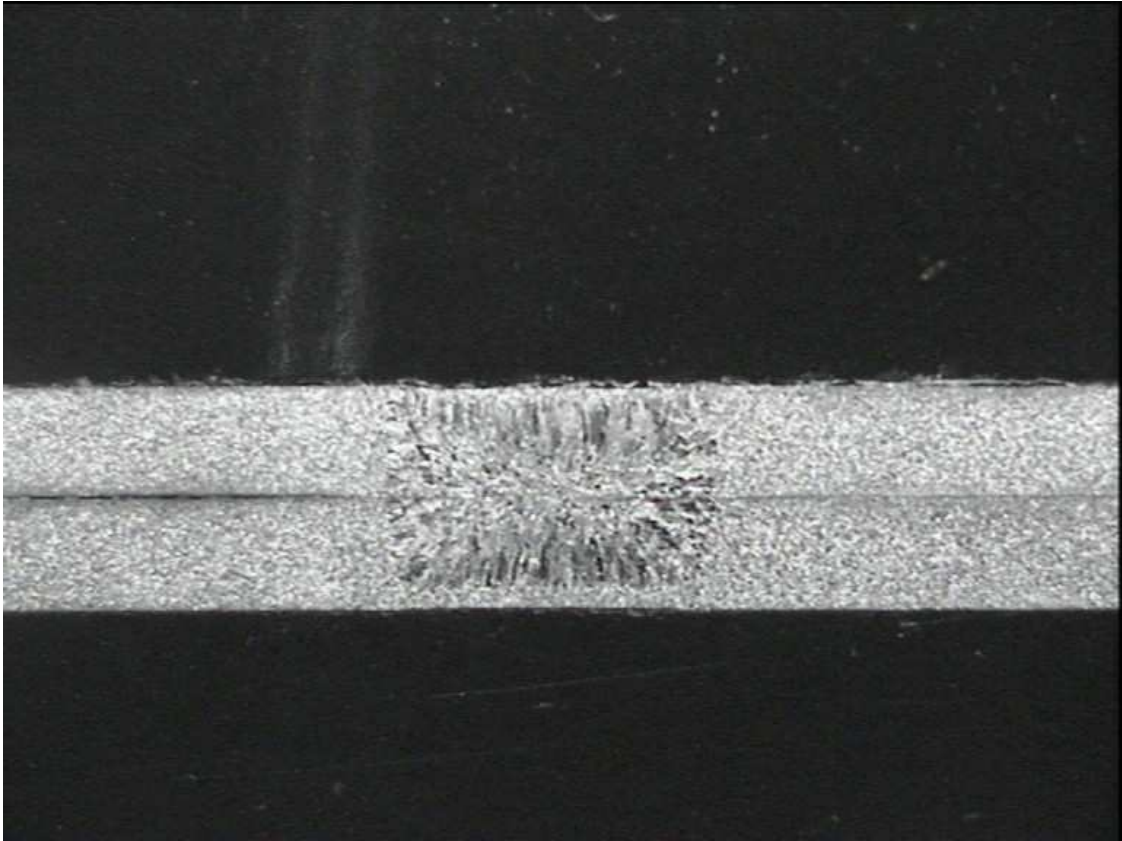
*Ensayo desbotonadura:*



Medición  $\emptyset$  lenteja (dp) por desbotonadura: NO hay formación de lenteja

*Ensayo metalográfico:*

- Ataque con Nital al 4%.



En este caso el nivel de energía transmitido es muy baja y la generación de calor que hemos provocado en la zona tan sólo ha hecho que se funda el zinc de recubrimiento y algo de material base. La línea de separación de las dos chapas es prácticamente continua en toda la sección vista por lo que el punto va prácticamente suelto. No hay apenas huella de soldadura.

*Ensayo de tracción con cizalladura:*

- Velocidad de ensayo: 0,16mm/s
- Carga máxima soportada a rotura: 346 Kgf= **3394 N**



## Grupo de probetas I.4: Punto quemado

*Parámetros utilizados:*

Fuerza electrodos (KN)	<b>1,5 KN</b>
Intensidad Corriente (kA) / nº impulsos	<b>13kA / 1</b>
Tiempo previo (periodos)	<b>20</b>
Tiempo de paso (periodos)	<b>18</b>
Tiempo de forja (periodos)	<b>20</b>



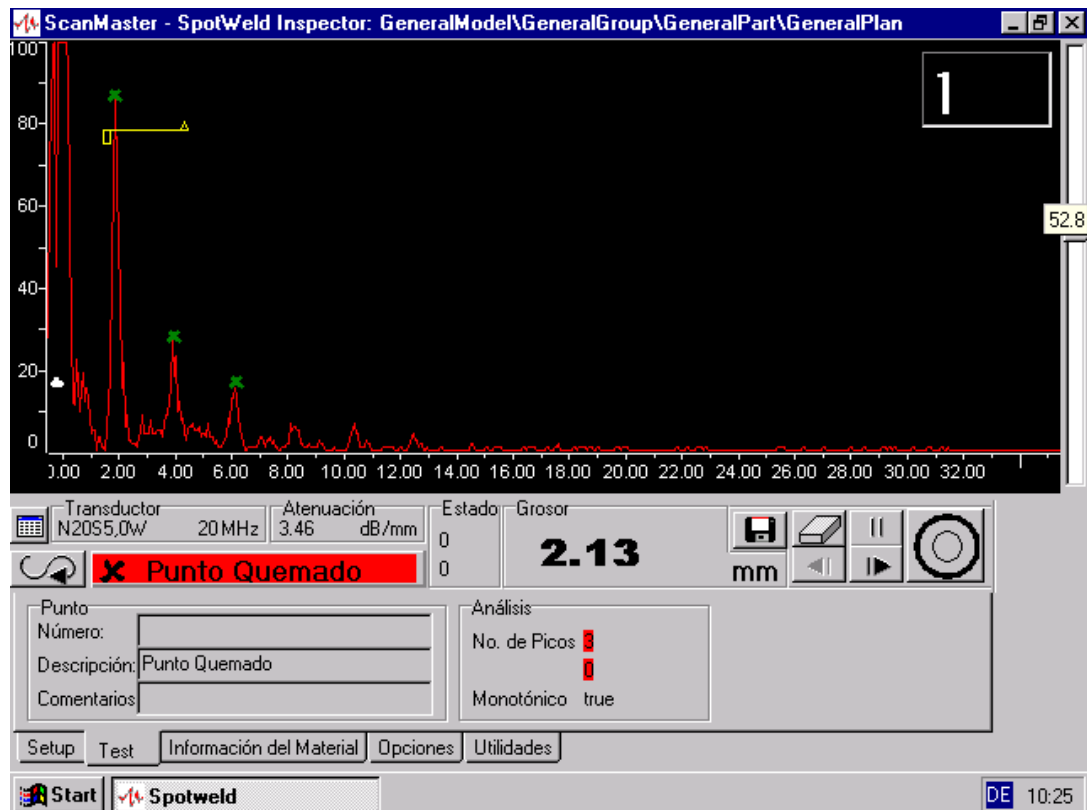


*Aspecto visual:*

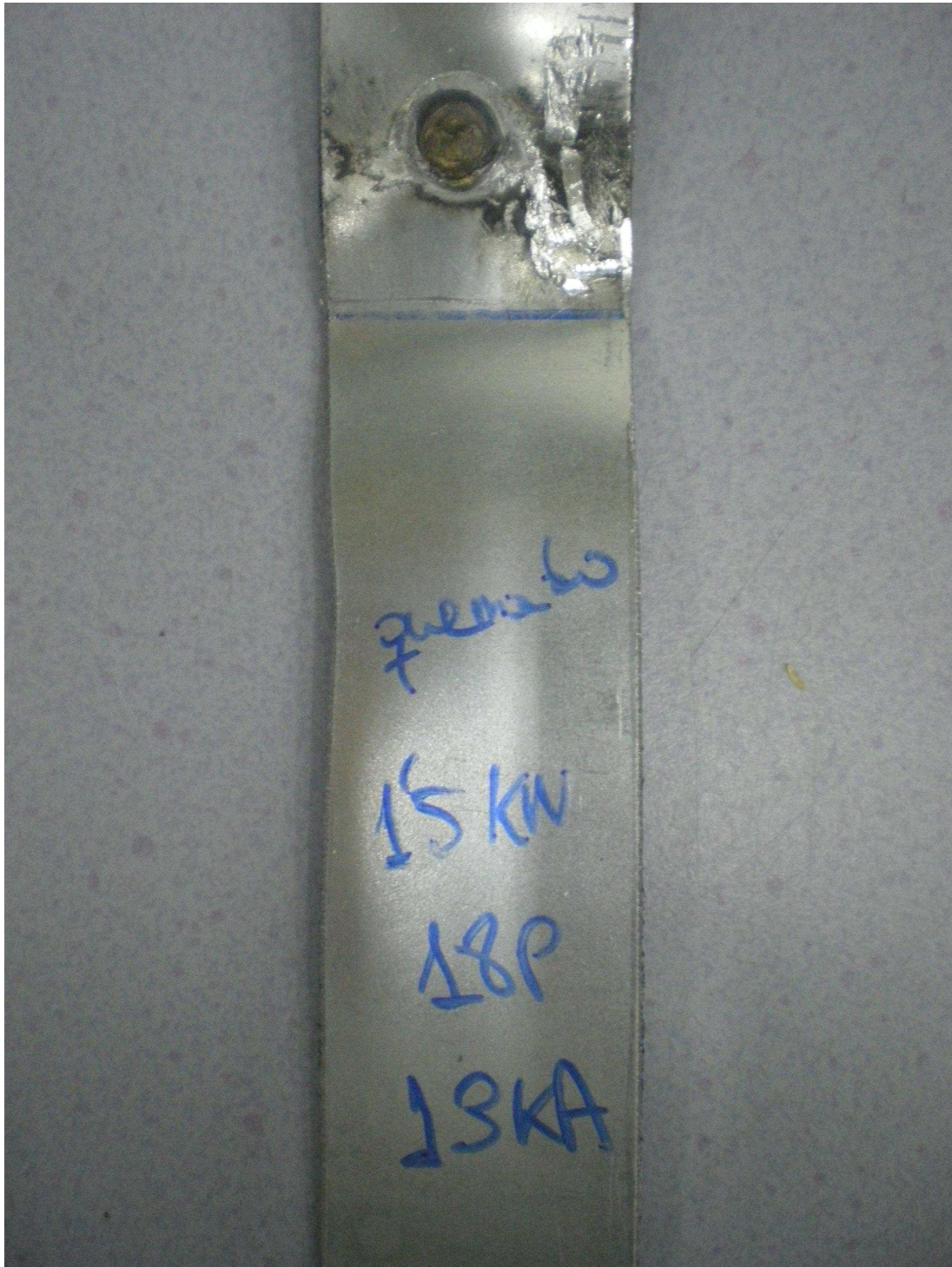




Gráfico obtenido:



- **Atenuación:** Presenta una cifra de atenuación alta (3,46 dB/mm.) y una caída de eco de casi un 66% señal de que hemos obtenido un buen grado de fusión. por otro lado, la distancia entre ecos de fondo (2,13mm.) nos indica que la penetración a sido excesiva y se ha producido una reducción del espesor total de la muestra porque se han dado proyecciones de material hacia el exterior (véase aspecto visual del punto).
- **Separación entre ecos sucesivos:** La distancia entre ecos de fondo (2,13mm.) nos indica que la penetración a sido excesiva y se ha producido una reducción del espesor total de la muestra porque se han dado proyecciones de material hacia el exterior (véase aspecto visual del punto).
- **Presencia ecos intermedios de defecto:** En este caso no se consideran ecos de defecto aunque es típico que aparezcan ecos por sopladuras, como se verá en la probeta sometida a análisis metalográfico se pueden apreciar poros internos en la muestra.

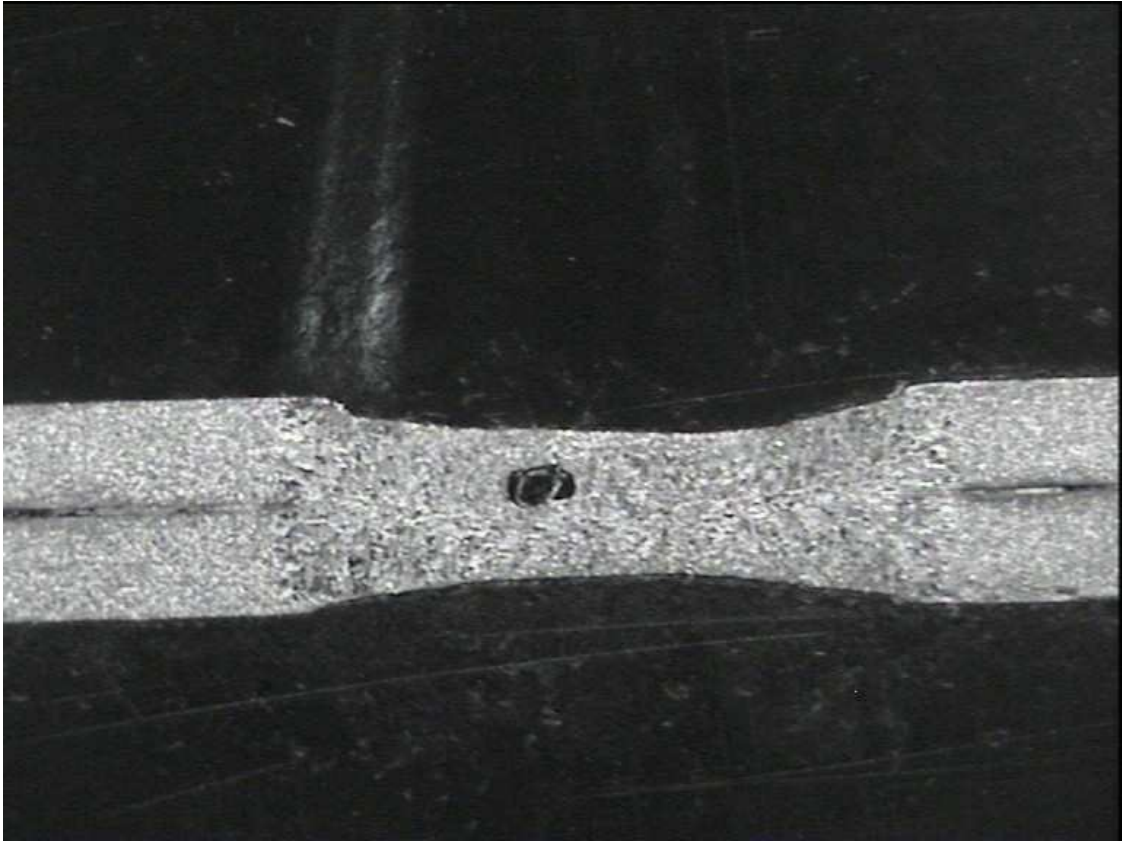
*Ensayo desbotonadura:*

Medición Ø lenteja (dp) por desbotonadura:

$$d_p = \frac{d_1 + d_2}{2} = \frac{8,49 + 9,03}{2} = 8,76 \text{ mm} > 4,89 \text{ luego OK}$$

*Ensayo metalográfico:*

- Ataque con Nital al 4%.



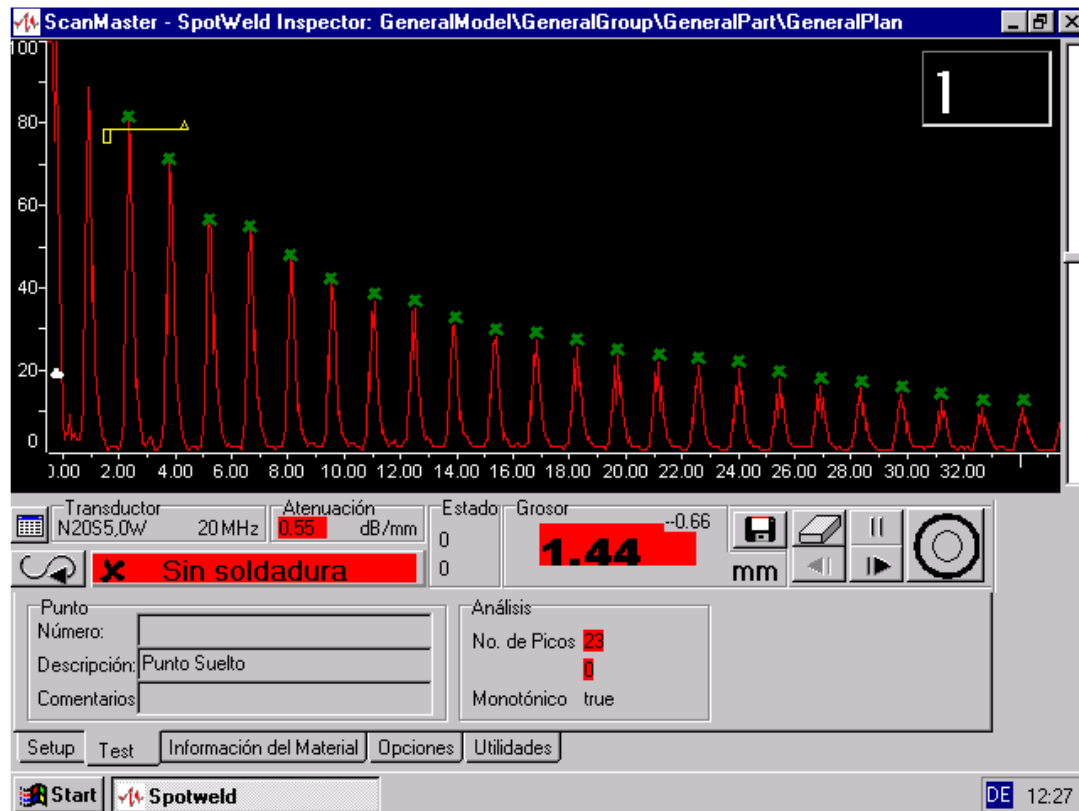
El aspecto es claramente el de un punto quemado. Lo denota entre otros aspectos su exagerada huella y en este caso el poro que se ha generado. Pues es el resultado de la aplicación de una gran intensidad que en combinación con la presión de los electrodos, ha hecho que se expulse parte del material base hacia el exterior en forma de proyecciones.

*Ensayo de tracción con cizalladura:*

- Velocidad de ensayo: 0,16mm/s
- Carga máxima soportada a rotura: 823 Kgf= **8073 N**



## Caso límite: Punto sin soldadura



Se ha considerado incluir la gráfica del caso de tener un punto totalmente suelto, aplicando el transductor sobre una zona no soldada de la probeta, es similar a la señal característica que presenta una muestra que carece de punto de soldadura, los ecos que aparecen en pantalla corresponden entonces al rebote del sonido en la pared de fondo de la 1ª chapa.

- **Atenuación:** Es muy baja (0,55 dB/mm.) y se encuentra muy por debajo del mínimo fijado en la configuración SWD para considerar el punto válido.
- **Separación entre ecos sucesivos:** La distancia entre ecos es de 1,44 mm. prácticamente el espesor unitario de las chapas que conforman la muestra.
- **Presencia ecos intermedios de defecto:** No tenemos ecos intermedios, ya tenemos continuidad de material en todo su espesor.



## 6.8 Tabla resumen parámetros obtenidos

Punto	Pinza	Dp mín(mm.)	Dp real(mm.)	espesor 1(mm.)	espesor 2(mm.)	Intendencia (kA)	T.sold (p)	T.Apriete (p)	T.Forja (p)	F.teórica (N)	F real (N)
<b>OK</b>	Manual Aro XM	≥4,9	7,275	1,5	1,5	9	18	20	20	5100	8554
<b>Lent.Pequeña</b>	Manual Aro XM	≥4,9	3,065	1,5	1,5	6	18	20	20	5100	5297
<b>Pegado</b>	Manual Aro XM	≥4,9	-	1,5	1,5	5,5	18	20	20	5100	3394
<b>Quemado</b>	Manual Aro XM	≥4,9	8,76	1,5	1,5	13	18	20	20	5100	8073